الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA
FACULTE DE LA TECHNOLOGIE

Département du Génie Électrique.



Mémoire de Fin d'Études

Pour l'obtention du Diplôme

De MASTER en Electrotechnique

Option : - Energie Renouvelable en Electrotechnique**.**

- Commende électrotechnique.

THEME

Etude et analyse d’un système photovoltaïque pour l’alimentation d’une école d’enseignement primaire sise (Thniet Elhdjer-Médéa).

Proposé et dirigé par

Mr. HASSANI Djamel.

Mr. FERRAI Ahmed.

Préparé et présenté par :

BENCHIDI Houria.

LARBI Khadidja.



Remercîment

Tous d'abord, nous remercions le dieu, le tout puissant de nous avoir donné la force de patienter durant tout mon cursus d'étude universitaire, de nous avoir soutenu et aidé et surtout pendant les moments difficiles.

Nous tenons également à remercier infiniment le directeur de l 'école abdelhafid skander de Médéa.

Nous tenons aussi à adresser nos remerciements aux membres de jury pour nous avoir fait l'honneur et le plaisir d'accepter et juger notre travail

En fin, nous remercions toutes les personnes qui ont contribué de prés ou de loin, au bon déroulement de notre travail et de nos études



Dédicace

Grasse a dieu, le très puissant, nous avons achevé ce modeste travail que je dédie A mon dieu Merci

Que ce travail témoigne de mes respects

A mes parents-mes grandes mères

Grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu

Créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études.

Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et

mes profonds sentiments envers eux.

A mes soeurs Chérifa - Douae

a ma copine intime Souihel Amina

Et à toute ma famille et mes proches

Et toutes mes amies sur tout B.Amina Z.Asma

Et mes collègues d'étude.



Benchidi Houria

Dédicace

Avant tous, je remercie dieu le tout puissant de
M'avoir donné le courage et la patience pour réaliser
Ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.
Je dédie ce modeste travail :
A mes très chers parents, que dieu les garde et les
Protège pour leurs soutien moral, pour
Leurs encouragements et les sacrifices qu'ils ont endurés.

A mon Marie
A mon frère
A ma sœur
A mes grandes familles
Aux chers amis surtouts
Benchidi Houria , Hamdani Lamia , Souihel Amina.
A tous ce que j'aime et qui m'aiment
A tous mes collègues d'études surtout ceux
D'électrotechnique

Larbi Khadidja

ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة و محاكاة النظام الكهروضوئي لتزويد مدرسة بالطاقة الشمسية في ولاية المدية. و لدراسة وإيجاد التحجيم المناسب لنظام الكهروضوئي يجب معرفة، مكان الدراسة جغرافيا، و المجال الشمسي لهذه المنطقة،ومعرفة كذلك النظام الكهروضوئي ، و لتحديد حجم هذا المشروع. لتسهيل الوصول إلى أبعاد النظام استخدمنا برنامجين PVsyst6.43 و PVgis حيث أنهما يقدمان تقريرا كاملا لإنتاجية الطاقة للألواح الشمسية الكهروضوئية.

الكلمات المفتاحية

مجال الطاقة الشمسية. الكهروضوئية ، الشبكة الكهربائية ، التحجيم ، محاكاة PV_{GIS} و PV_{SYST}

Résumé

L'objectif de ce travail est l'étude et simulation d'un système photovoltaïque pour alimenter une école dans la willaya de Médea.

Pour trouver le dimensionnement de ce système doit connaître les données suivantes, la zone et la régiron de l'étude géographique, gisement solaire, system photovoltaïque et le dimensionnement de ce projet.

Pour faciliter l'accès aux dimensions du système que nous avons utilisé le logiciel de PV_{GIS} et PV_{SYST} 6.43, et ça donne un rapport complet, nous pouvons voir dans les résultats la production d'électricité solaire par le système photovoltaïque.

Mots clés

gisement solaire, photovoltaïque, réseau électrique, dimensionnement, simulation PV_{SYST} PV_{GIS}

Abstract

The objective of this work is the study and simulation of a photovoltaic system to supply aschool in the city of Medea .

To find the sizing of this system must know the following data, the area and the govern of the study, solar field, photovoltaic system and the sizing of this project. To facilitate access to the dimensions of the system that we have used the PVGIS and PVSYST 6.43 software, and it gives a complete report, we can see in the results the production of solar electricity by thephotovoltaic system.

Keywordssolar field. photovoltaic, electrical network, sizing, simulation PV_{SYST} PV_{GIS}.

Nomenclature

λ : La longitude.

φ : La latitude du lieu.

Z : L'altitude.

δ : l'angle de La déclinaison.

ω : L'angle horaire.

h : La hauteur angulaire.

β : Azimut du soleil.

Ɛ : Albédo.

I : Le courant fourni par la cellule.

V : Tension nominale.

I_{ph} : Courant aux bornes du module photovoltaïque (A)

V_d : La tension aux bornes de diode.

I_d : Courant de diode.

I_0 : Le courant de saturation de la diode.

I_p : Le courant dérivé par la résistance parallèle

Vt : Potentielle thermique

I_{sc} : Courant de court-circuit (obtenu pour V = 0).

V_{oc} : Tension en circuit ouvert (obtenu pour I =0).

R_s : Résistance série.

R_p : Résistance parallèle

K : Constante de Boltzmann (1,381 .10-23 joule/Kelvin).

Q : Charge d'électron =1,602 .10-19 C

n : Le facteur de qualité de diode.

T : La température de cellule en kelvin.

C_h : Charge quotidienne

R : Réserve ou jours d'autonomie.

P_d : Profondeur de décharge pour chaque cycle

C : Capacité de la batterie

Ns : Nombre de cellules en série.

N_p : Nombre de cellules en parelle.

Abréviations

GPV : Générateur photovoltaïque.

PV : Photovoltaïque.

SIG : Système d'information géographique.

Tu : Temps universel.

TSL : Temps solaire local.

TSM : Temps solaire moyen.

MA : La masse d'air.

Et : Equation du temps.

MPPT : Maximum de puissance (maximum power point tracker).

PPM : la puissance maximale de la cellule).

CC : Courant Continu.

CA : Courant alternatif.

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Le gisement solaire

Figure I.1 : Schématisation des mouvements de la Terre autour du Soleil. 5
Figure 1.2 : Irradiation solaire globale reçue sur plan horizontale.....6
Figure I.3 : Définition de l'air masse. 7
Figure I.4 : Les coordonnées géographiques latitude et longitude. 8
Figure I.5 : Position du soleil. 10
Figure I.6 : Différents composants de rayonnement 11

Chapitre II : Généralités sur le système photovoltaïque

Figure II.1 : Système photovoltaïque. 15
Figure II.2 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque. 16
Figure II.3 : Cellule PV monocristalline 17
Figure II.4 : Cellule PV poly cristalline 18
Figure II.5 :Cellule photovoltaïque amorphe. 18
Figure II.6 : Structure d'une cellule photovoltaïque. 19
Figure II.7 : Caractéristiques courant-tension de la cellule photovoltaïque. 19
Figure II.8 : Caractéristique courant tension de Ns cellule en série. 20
Figure II.9 :Caractéristique courant tension de (Np) cellule en parallèle. 21
Figure II.10 : Modèle de cellule photovoltaïque idéal. 22
Figure II.11 : Modèle de la cellule photovoltaïque réel. 23
Figure II.12 : Schéma équivalent du module. 24
Figure 1I.13 : Module PV en groupement série - parallèle des cellules. 26
Figure II.14 : Schéma synoptique d'un générateur PV. 26
Figure II.15 : Systèmes photovoltaïques autonome. 28
Figure II.16 : Schéma équivalent d'une batterie. 29
Figure II.17 : les batteries sont connectées en série. 31
Figure II.18 : les batteries sont connectées en parallèle. 31
Figure II.19 : les connexions en série et en parallèle sont combinées……..……32
Figure II.20 : Symbole de convertisseur DC-AC monophasé et triphasé. 35
Figure II.21:Différentes topologies des installations PV connectés aux réseaux électri…….37

Chapitre III : Simulation et interprétation des résultats.

Figure III.1 : carte géographique d'école. 43
Figure III.2 : Fenêtre de PVGIS. 44
Figure III.3 : le graphique des irradiations. 46
Figure III.4 : Fenêtre de PV_{Syst}6.43. 47
Figure III.5 : Fenêtre de bases de données. 48
Figure III.6 : Fenêtre conception d'un projet isole avec batterie. 49
Figure III.7 : inclinaison du générateur PV par PVsyst. 50
Figure III.8 : besoin d'énergie de l'utilisateur journalière. 52
Figure III.9 : besoin d'énergie de l'utilisateur annelle. 52
Figure III.10 : Caractéristique courant-tension d'une cellule en fonction del'éclairem……..54
Figure III.11 : Caractéristique p-t d'une cellule en fonction del'éclairement ……..….54
Figure III.12 : Caractéristique C-tension d'une cellule en fonction de la température……...55
Figure III.13 : Caractéristique p-tension d'une cellule en fonction de la températur……..56
Figure III.14 : Dimensionnement de tension du champ. 57
Figure III.15 : taux de décharge de la batterie. 58
Figure III.16 : taux de charge de la batterie. 58
Figure III.17: Fenêtre conception d'un projet couplé au réseau. 62
Figure III.18 : Efficacité d'onduleur en fonction de puissance (P_{in}). 63
Figure III.19 : Efficacité d'onduleur en fonction de puissance (P_{Out}).....63
Figure III.20 : boite des résultats de simulation. 64
Figure III.21 : des pertes pour 1 année d'un système PV isole. 66
Figure III.22 : des pertes pour 1 année d'un système PV non isolent. 67
Figure III.23 : Énergie utile produite par PV (à la sotie de battrie). 68
Figure III.24 : Énergie utile produite par le système non isole (à la sotie del'onduleur)…...68
Figure III.25 : indice de performance d'un système pv non isole. 69
Figure III.26 : indice de performance d'un système pv isole. 69
Figure III.27 : Les fonctions et les performances de batterie. 71
Figure III.28 : Diagramme journalier Entrée/Sortie du système PV isole. 71
Figure III.29 : Diagramme journalier Entrée/Sortie du système PV isole. 72
Figure III.30 : Énergie incidente de référence sur le plan des panneaux. 72

LISTE DES TABLEUX

Chapitre I : Le gisement solaire.

Tableau I.1 : Potentiel solaire en Algérie. 6
Tableau I.2 : l'angle horaire. 9

Chapitre III : Simulation et interprétation des résultats.

Tableau III.1 : Les pièces et L'équipement électrique dans l'école. 43
Tableau III.2 : Irradiation globale à l'emplacement de wilaya de Médéa. 45
Tableau III.3 : données géographiques du site de la wilaya de Médéa. 46
Tableau III.4 : Inclinaison optimale en fonction de la latitude 51
Tableau III.5 : L'équipement électrique dans cette école. 51
Tableau III.6 : Dimension et technologie de module A-Sun by aton Energy. 53
Tableau III.7 : Les paramètres de Batterie. 57
Tableau III.8 : Coûts du système total. 60
Tableau III.9 : Consomation d'energie de l'école 61
Tableau III.10 :Bilans et résultats principaux d'un système isole. 64
Tableau III.11 :Bilans et résultats principaux d'un système non isole. 65
Tableau III.11 : Fonctionnement et performances de batteries. 70
Tableau III.12 : Les données de météorologique et l'irradiation. 73

Table des matieres

Remercîments ……..

Dédicace ……..……

Résumé …….

Abréviation……

Liste de Figure …….

Liste de Tableaux …….

Introduction Générale……1

Chapitre I : Le gisement solaire

I.1.Introduction 4

I.2.Le soleil 4

I.2.1. Présentation générale de soleil 4

I.2.2. La position géométrique du soleil 5

I.3.Mouvements de la terre 5

I.4. Potentiel solaire en Algérie 6

I.5.Caractéristique de rayonnement solaire.....7

I.5.1.Rôle de l'atmosphère.....7

I.5.2.Masse d'air.....7

I.6.Les coordonnées géographiques 8

I.6.1.La longitude (λ).....8

I.6.2. La latitude (φ).....8

I.6.3.L'altitude (Z) 9
I.7.Les coordonnées horaires 9
I.7.1. La déclinaison (б) 9
I.7.2.L'angle horaire(ω) 9
I.8.Les coordonnées horizontales 10
I.8.1.La hauteur angulaire (h) 10
I.8.2.Azimut du soleil (ß) 10
I.8.3.La distance zénithale Z 11
I.9.Notions préliminaires sur le rayonnement solaire 11
I.9.1. Rayonnement direct 11
I.9.2. Rayonnement diffus 11
I.9.3.Rayonnement réfléchi 11
I.9.4. Rayonnement global 12
1.10. Equation du temps 12
1.10.1. Temps solaire local 12
1.10.2. Temps universel 12
I.10.3.Temps solaire vrai 12
1.10.4 Equation du temps 12
I.11.Conclusion 13

Chapitre II :Présentation du système photovoltaïque étudie

II.1.Introduction 14
II.2.Définition d'énergie renouvelable 14
II.3.Définition d'énergie solaire 14
II.4.Les cellules solaires 15
II.5.Historique des cellules photovoltaïques 16
II.6.Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque 16
II.7.Les différents types de cellules solaires (cellules photovoltaïque) 17

II.7.1.Les cellules monocristallines 17
II.7.2.Les cellules poly cristallines 18
II.7.3.Les cellules amorphes 18
II.8.Principe de fonctionnement d'une cellule 19
II.9. Regroupement des cellules 20
II.9.1 Regroupement en série 20
II.9.2 Regroupement en parallèle 21
II.9.3 Regroupement (série et parallèle) 21
II.10.Modélisation d'une cellule photovoltaïque 22
II.10.1.Cellule photovoltaïque idéal 22
II.10.2.Cellule photovoltaïque réel 23
II.11.Module PV 24
II.11.1. Caractéristiques d'un module 24
II.11.2. Le câblage de modules au silicium cristallin 25
II.12. Panneau photovoltaïque 26
II.12.1.Constitution d'un générateur photovoltaïque (GPV) 26
II.13.L'effet de l'ombrage partiel 27
II.14. Avantage et inconvenants des PV 28
II.14.1.Avantage 28
II.14.2.Inconvenants 28
II.15 Systèmes photovoltaïques autonomes 29
II.15.1 Système autonome sans batterie 29
II.15.2 Système autonome avec batterie 30
II.15.3 Classement des systèmes isolés 30
II.15.4 Batterie solaire 30
II.15.4.1 Liaison des batteries 31
II.15.4.2 Utilisation d'une batterie solaire 33
II.15.4.3 Principe de fonctionnement 33

II.15.4.4 Caractéristiques des batteries 34
II.15.5 Le régulateur 34
II.15.5.1 Rôle de la régulation dans les systèmes photovoltaïques 35
II.15.6 Commande MPPT 35
II.16 Systèmes photovoltaïques relié au réseau éléctrique 35
II.16.1 Système PV sur réseau decentralize 36
II.16.2 Système PV centralisé 36
II.16.3 Eléments constitutifs d'une installation connecté au réseau 36
II.16.4 Classifications des centrals photovoltaïques relies au réseau 36
II.16.5 Perturbations des réseaux électriques 37
II.16.6 Les onduleurs 37
II.16.6.1 Principe de fonctionnement d'un onduleur 37
II.16.6.2 Classification des onduleurs 38
II.16.6.3 Différentes topologies des installations les onduleurs 39
III.17 Conclusion 41

Chapitre III : Simulation et interprétation des résultats.

III.1.Introduction 42
III.2.Présentation de la wilaya de Médéa 42
III.3.Présentation de l'école 42
III.4.Logiciel PVgis 44
III.4.1.Utilisation de PVGIS 44
III.4.1.1.Optimiser l'inclinaison 45
III.4.1.2. Base de données de rayonnement 45
III.4.2.Données géographiques de la willaya de Médéa 46
III.5.Logiciel PV système: 46
III.5.1.Premier contact avec PVsyst 47
III.5.2.Données d'entrée 48
III.6.Conception du projet isolé avec batteries 49

III.6.1.Orientation.....49
III.6.2.Besoins utilisateur.....51
III.6.3.Système 53
III.6.3.1. Le Générateur Pv 53
III.6.3.2.Influence de l'éclairement 53
III.6.3.3.Influence de la température 55
III.6.3.4.Branchement de panneau solaire photovoltaïque 56
III.6.3.5.Les batteries.....57
III.6.4. Evaluation économique. 59
III.6.4.1 Analyse de cout 59
III.6.4.2.Coûts initiaux.....60
III.6.4.3.Coûts de maintenance et replacement 61
III.7.Conception du projet couplé au réseau 62
III.7.1.Onduleur.....62
III.8.Exécuter la première simulation 63
III.8.1.Bilans et résultats principaux.....64
III.8.2.Des pertes pour 1 année 66
III.8.3.Énergie produite.....68
III.8.4. indice de performance d'un système pv 69
III.8.5. Fonctionnement et performances de batteries. 70
III.8.6.Diagramme journalier Entrée/Sortie du système PV 71
III.8.7. Énergie incidente de référence sur le plan des panneaux. 72
III.8.8. Les données de météorologique et l'irradiation 73
III.9.Conclusion.....73

Conclusion Générale 75

Annexe 1 …….78

Annexe 2 ……..80

Annexe 3 ……..85

Bibliographique……88

Introduction Générale

Introduction Générale

Dans nos jours, il nous semble que personne ne peut s'en douter sur l'importance de l'énergie pour les besoins humains. Avec les avancées technologiques, le besoin en énergie ne cesse d'augmenter, ce problème d'énergie est encore plus sensible dans les sites isolés l'utilisation des ressources classiques s'avère souvent très coûteuse. En effet, plusieurs contraintes, comme le transport du combustible et les entretiens périodiques des moteurs diesels, rendent la recherche d'une source d'énergie alternative indispensable pour ce type de site.[5]

Les énergies renouvelables sont des énergies inépuisables. Elles sont issues des éléments naturels, le soleil, le vent, les chutes d'eau, les marées, la chaleur de la Terre, la croissance des végétaux… On qualifie les énergies renouvelables d'énergies "flux" par opposition aux énergies "stock", elles-mêmes constituées de gisements limités de combustibles fossiles (pétrole, charbon, gaz, uranium). Contrairement à celle des énergies fossiles, l'exploitation des énergies renouvelables n'engendre pas ou peu de déchets et d'émissions polluantes. Ce sont les énergies de l'avenir. Mais elles sont encore sous-exploitées par rapport à leur potentiel.

Utiliser les énergies renouvelables présentes de nombreux avantages. Cela aide à lutter contre l'effet de serre, en réduisant notamment les rejets de gaz carbonique dans l'atmosphère. Cela participe de plus à une gestion intelligente des ressources locales.

A partir de ce constat, il été nécessaire de chercher d'autres ressources d'énergie de remplacement. Les énergies renouvelables, comme l'énergie photovoltaïque, éolienne ou hydraulique, représentent une solution de remplacement par excellence et elles sont de plus en plus utilisées dans nos jours. Ce type d'énergie n'est pas seulement gratuit et inépuisable, mais aussi très propre pour l'environnement. D'ailleurs, on parle souvent d'une énergie « verte », puisqu'elle permet d'éviter totalement la pollution produite par les sources traditionnelles. [5]

Le dimensionnement d'un système photovoltaïque est essentiel pour son bon fonctionnement et pour la satisfaction de l'utilisateur.

Les méthodes de dimensionnement diffèrent essentiellement selon le type de raccordement, c'est à dire si le système est connecté au réseau électrique ou s'il en est indépendant ou "isolé".

La première présentation de la détermination des besoins d'une école, nous devons d'abord définir les besoins de l'utilisateur.

Dans un système autonome, la consommation d'énergie est basée sur l'utilisation quotidienne, mensuelle ou annuelle. La consommation d'énergie quotidienne pour chaque charge est déterminée par sa puissance et son temps de fonctionnement. Afin d'obtenir une demande de charge précise, la puissance et le temps de fonctionnement doivent être obtenus pour chaque charge, dans tous les cas il est nécessaire de connaître

- ✓ Le besoin, la démarche
- ✓ Le gisement d'énergie solaire du lieu concerné
- ✓ Le choix des modules photovoltaïques, leur implantation et la structure support
- ✓ Le choix des composants électriques assurant la régulation et la protection du système et des usagers
- ✓ La mise en œuvre : câblage, maintenance

Le dimensionnement est facilité par différents outils logiciels plus ou moins gratuits et plus ou moins performants. Pour pouvoir dimensionner un générateur photovoltaïque connecté au réseau ou un générateur photovoltaïque isolé (ou éventuellement hybride), pour connaitre les formules de calcul pour calculer la production d'un panneau solaire photovoltaïque on a utilisé LogicielsPV syst6.43.

Lors du développement d'un projet dans PVsyst, il est conseillé de procéder par petites étapes :

- ✓ Créez un projet en spécifiant l'emplacement géographique et les données météorologiques.
- ✓ Définir une variante de système de base, comprenant uniquement l'orientation des modules PV, la puissance requise ou la zone disponible et le type de modules PV et d'onduleurs que vous souhaitez utiliser. PVsyst proposera une configuration de base pour ce choix et fixera des valeurs par défaut raisonnables pour tous les paramètres requis pour un premier calcul. Ensuite, vous pouvez simuler cette variante et

l'enregistrer. Ce sera la première approximation qui sera affinée dans les itérations successives.

- ✓ Définir des variantes successives en ajoutant progressivement des perturbations à ce premier système, par exemple, ombrages éloignés, ombrages proches, paramètres de perte spécifiques, évaluation économique, etc. Vous devez simuler et sauvegarder chaque variante pour pouvoir les comparer et comprendre l'impact de toutes les les détails que vous ajoutez à la simulation.

Donc le but de ce travail est étude et analyse d'un système photovoltaïque pour l'alimentation d'une école d'enseignement primaire. La rédaction de notre mémoire se compose de trois chapitres :

- ❖ Au premier chapitre fait-on-nous description générale sur le gisement solaire.
- ❖ Le deuxième chapitre décrit une étude préliminaire Généralités sur le système photovoltaïque, et leur principe et les différents types existants.
- ❖ Le troisième chapitre nous allons étudier tous les résultats obtenus à partir de simulateurs

Finalement, nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale qui résume notre étude dans sa partie théorique et de simulation.



Chapitre I

Gisement solaire

I.1.Introduction

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible dans un site donné et au cours d'une période donnée. Son évaluation peut se faire à partir des données de l'irradiation solaire globale.

Pour effectuer le dimensionnement le plus exact possible, compte tenu des demandes en énergie à satisfaire, l'étude du gisement est le point de départ de toute investigation

Cette étude est très indispensable dans le domaine de l'énergie solaire afin de simuler le fonctionnement probable du système énergétique de s'assurer de son intérêt et de sa faisabilité.

I.2.Le soleil

Le soleil est la seule étoile du système solaire et la plus proche de la terre, sa lumière met environ 8 mn à nous atteindre.

Sur le plan humain, le soleil a une importance primordiale car il est à l'origine de la vie sur terre, en lui fournissant d'énormes quantités d'énergie, qui permet la présence de l'eau à l'état liquide et la photosynthèse des végétaux. Le rayonnement solaire est aussi responsable du climat et des phénomènes météorologiques. [1]

I.2.1. Présentation générale de soleil

Le soleil est une étoile naine de forme pseudo-sphérique comparable à une immense boule de gaz très chauds qui se compose de 80% d'hydrogène et de 19% d'hélium, le 1%restant étant un mélange de plus de 100 éléments, soit pratiquement tous les éléments chimiques connus.

Bien que le soleil soit une étoile de taille moyenne, il représente à lui seul 99.9% de la masse du système solaire qui est dominé par les effets gravitationnels de l'importante masse du soleil.

Les caractéristiques principales du soleil.[1]

- Diamètre 1392000 km.
- Masse 10^{30} kg.
- Surface $6.09.10^{12}\text{km}^2$.
- Volume $1.41.10^{18}\text{km}^3$.
- Masse volumique moyenne 1408 kg/m^3.
- Vitesse 217 km/s.
- Distance du centre de la voie lactée 2.5. 10^{18} km.

I.2.2. La position géométrique du soleil

La Terre tourne autour d'un axe définissant les pôles nord et sud du globe en 24 heures. Ce phénomène génère ainsi une alternance de jours (l'hémisphère du site considéré est alors éclairé) et de nuit (l'hémisphère est à l'ombre).

La trajectoire de la terre autour du soleil constitue une ellipse de très faible excentricité (c'est-à-dire proche d'un cercle), réalisée en environ 365 jours. L'inclinaison de l'axe des pôles terrestres par rapport au plan de l'écliptique est constante et égale à 23° 27' ; elle est à l'origine du phénomène de saison que nous connaissons. La distance terre-soleil varie entre 153.106 km (le 3 juillet) et 147.106 *km* (le 3 janvier) ; sa valeur moyenne vaut 150.106 km, ce qui donne un rayon apparent du soleil depuis la terre égal à 0,27°.[2]

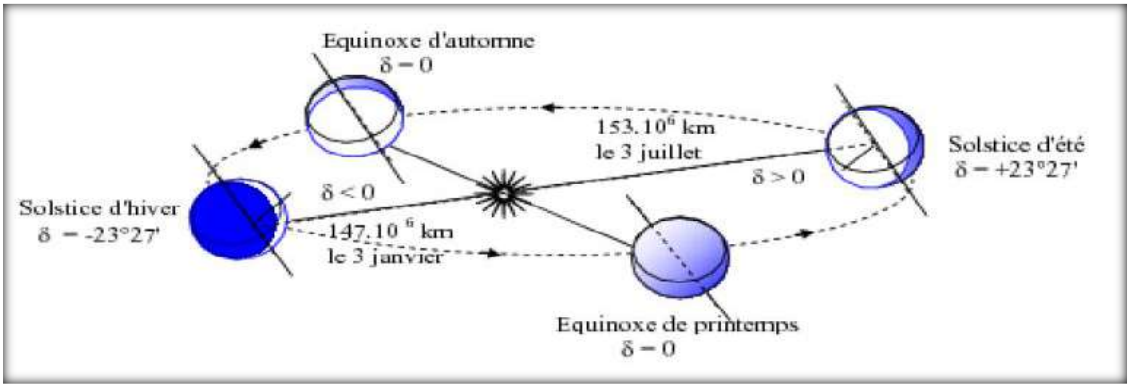


Figure I.1 : Schématisation des mouvements de la Terre autour du Soleil.[2]

I.3.Mouvements de la terre

La trajectoire de la terre autour du soleil est une ellipse dont le soleil est l'un des foyers. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique. L'excentricité de cette ellipse est faible ce qui fait que la distance Terre/ Soleil ne varie que de ± 1,7 % par rapport à la distance moyenne qui est de 149 675 10 6 km. [3]

La terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles et passant par le centre de la terre appelé l'équateur. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique en fait l'équateur et l'écliptique font entre eux un angle appelé inclinaison de l'ordre de 23°27'.

I.4. Potentiel solaire en Algérie

L'Algérie possède un gisement solaire parmi les gisements plus élevé dans le monde. La durée moyenne d'ensoleillement dans le Sahara algérien est de 3500 heures.

Ce potentiel peut constituer un facteur important de développement durable dans cette région s'il est exploité de manière économique. Le tableau (I-1) dessous indique le taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie. Le volet de l'énergie solaire le plus utilisé dans notre pays est le solaire photovoltaïque mais les autres volets solaires thermiques et thermodynamiques restent toujours au stade d'expériences. [5]

Tableau 1.1 : Potentiel solaire en Algérie. [1]

Régions / Paramètres	Régions côtières	Hauts Plateau	Sahara
Superficie %	**4**	**10**	**86**
Durée moyenne d'ensoleillement $\frac{heures}{an}$	**2650**	**3000**	**3500**
Energie moyenne reçue $\frac{Kwh}{m^2 an}$	**1700**	**1900**	**2650**

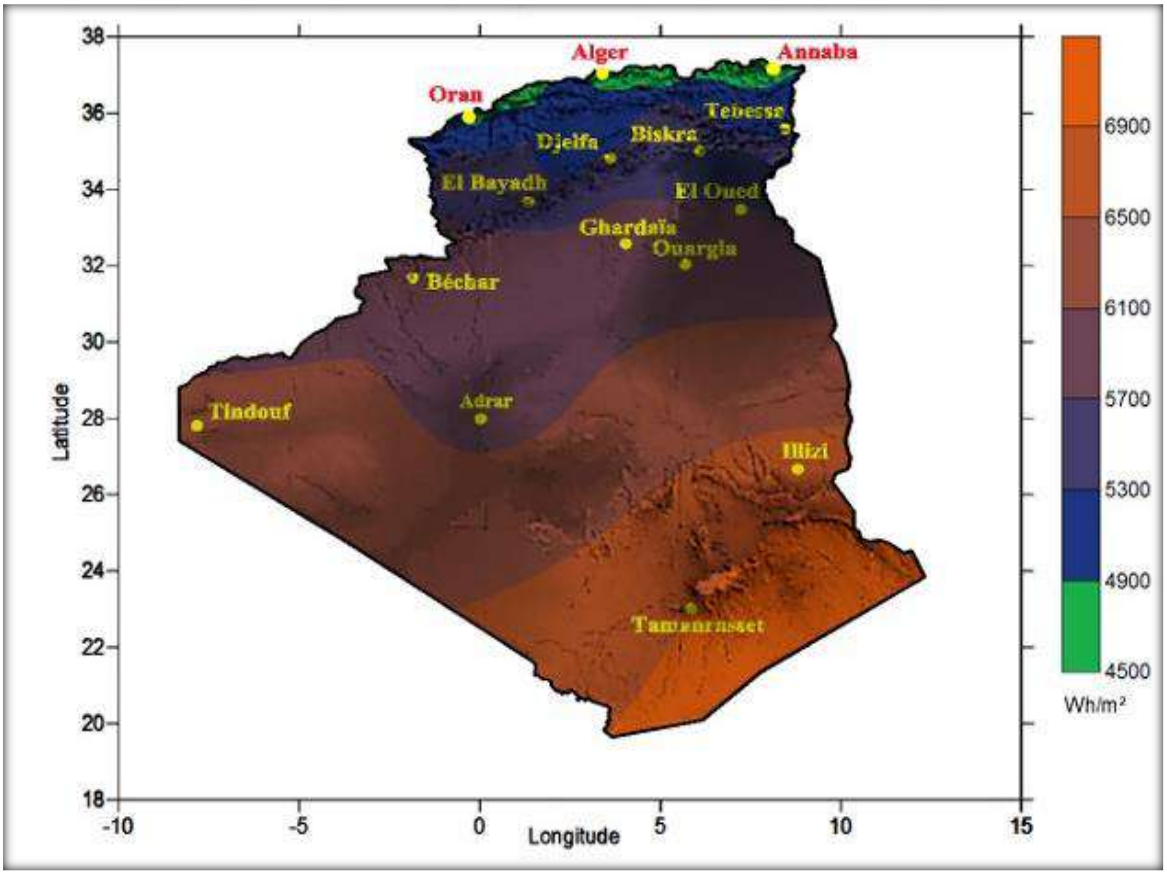


Figure 1.2 : Irradiation solaire globale reçue sur plan horizontale.[28]

I.5.Caractéristique de rayonnement solaire

I.5.1.Rôle de l'atmosphère

L'atmosphère est composée de couche superposées les unes sur les autres. Depuis le sol. On distingue la troposphère, la stratosphère, puis la mésosphère, suivi de la thermosphère.

Malgré une atténuation importante lors de la traversée de l'atmosphère, la quantité restante demeure encore importante quand elle arrive au sol. On peut ainsi compter sur 1000 W/m² crête dans les zones tempérées et jusqu'à 1400 W/m², lorsque l'atmosphère est faiblement polluée en poussière ou en eau, avec de la vapeur d'eau dans la troposphère et une mince couche d'ozone dans la stratosphère dont le rôle est si important dans l'absorption des rayons ultraviolettes les plus durs.

On rajoute à cela les aérosols qui sont des particules soit d'origine artificielle telle que produites par l'industrie, l'automobile ou le chauffage.[5]

I.5.2.Masse d'air

Plus le soleil est bas sur l'horizon, plus il va traverser une épaisseur importante d'atmosphère et plus il va subir de transformation. On appelle masse d'air ou Air masse en anglais, le rapport entre l'épaisseur d'atmosphère traversée par le rayonnement direct pour atteindre le sol et l'épaisseur traversée à la verticale du lieu. [5]

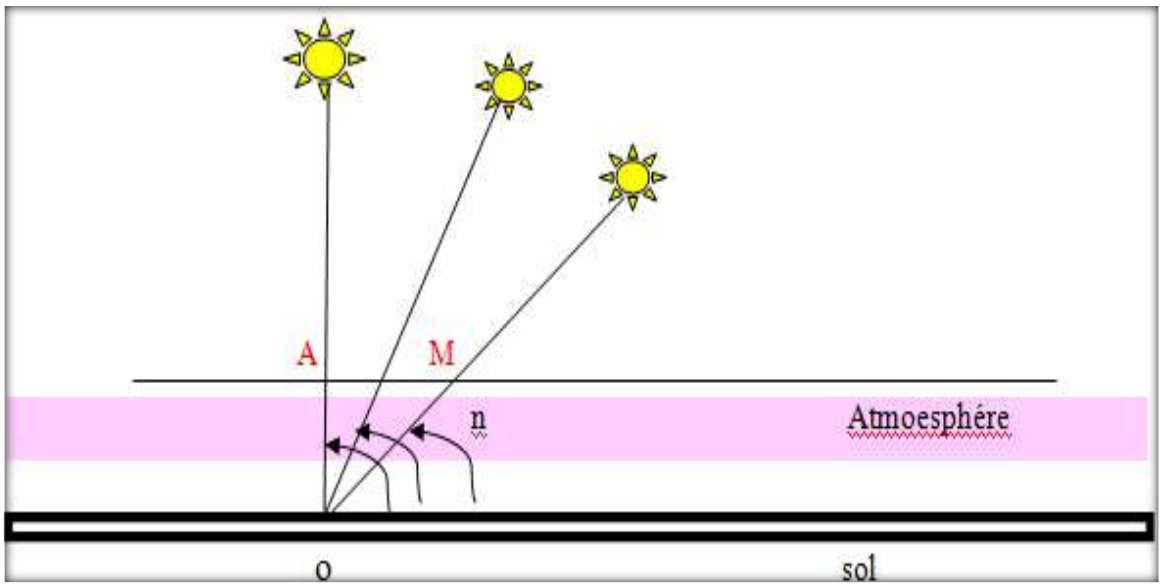


Figure I.3 : Définition de l'air masse.

OM =$\frac{OA}{Sinh}$ danc l'air masse masse $\frac{OM}{OA} = \frac{1}{Sinh}$. **(I.1)**

Dans l'espressioneAM$_x$. x désigne ce rapport $\frac{OM}{OA}$.

I.6.Les coordonnées géographiques

La Terre est pratiquement une sphère qui tourne autour d'un axe passant par le pôle Nord elle pôle Sud.

Tout point sur la terre est caractérisé par sa latitude et sa longitude. Ces deux grandeursreprésentent les coordonnées géographiques de ce point ainsi que par son altitude, Ce sont les coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre.[3] [4]

I.6.1.La longitude (λ)

La longitude d'un lieu correspond à l'angle formé par deux plans méridiens (passant par l'axe des pôles), l'un étant pris comme origine (méridien de Greenwich 0°) et l'autre déterminé par le lieu envisagé.

On affecte du signe (+) les méridiens situés à l'est de ce méridien, et du signe (-) les méridiens situés à l'ouest.

La longitude d'un lieu peut aussi être comprise entre -180° et +180°, à tout écart de 1° de longitude correspond à un écart de 4 minutes de temps. La longitude sera désignée ici par la lettre λ_0.[4]

Longitude OUEST $\lambda 0 < 0°$

Longitude EST $\lambda_0 > 0°$

I.6.2. La latitude (φ)

C'est l'éloignement d'un point sur la surface de la terre par rapport à l'équateur, mesuré en degré (mesurée à partir du centre de la terre), permettent de repérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur. Elle varie de **0° à 90°** dans l'hémisphère nord et de **0° à –90°** dans l'hémisphère sud.[3]

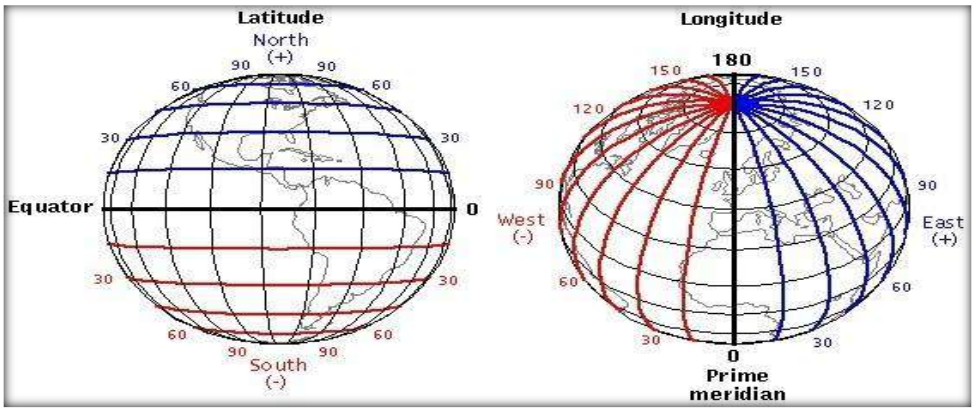


Figure I.4 : Les coordonnées géographiques latitude et longitude.

I.6.3.L'altitude (Z)

C'est l'altitude d'un point correspondant à la distance verticale entre ce point et une surface de référence théorique (le niveau de la mer = 0), elle est exprimée en mètre.[3]

I.7.Les coordonnées horaires :

I.7.1. La déclinaison (б) :

C'est l'angle entre la direction du soleil et le plan équatorial Elle traduit l'inclinaison du plan équatorial par rapport au plan écliptique. La déclinaison varie entre -23.45°(Le 21 décembre) et +23.45°(Le 21 juin). Cet angle varie très peu pendant une journée, ce qui permet d'approcher le mouvement quotidien du soleil par une rotation sur cône d'axe l'équateur.[6]

$$б = \mathbf{23.45.}\ \mathbf{sin}(2\pi\frac{284+n}{365}). \qquad \textbf{(I.2)}$$

2π =360°

n : est le numéro de jour dans l'année.

- ✓ δ = 0 (Equinoxes) : Les équinoxes représentent les deux dates de l'année où le soleil traverse le plan équatorial, l'équinoxe automnal, le 23 septembre, marquant le début de la chute de la durée de la journée, et l'équinoxe vernal le 21 mars, marquant le début de l'accroissement de la durée du jour.
- ✓ $\delta = 23{,}45°$ (au Solstice été) : Le solstice d'été (au 21 juin), nous observons que le soleil est à son point le plus élevé dans le ciel. Elle marque le début de l'été dans l'hémisphère nordique.
- ✓ δ = -23,45° (au Solstice hiver) : Il coïncide avec le 21décembre.[4]

I.7.2.L'angle horaire(ω) :

C'est l'angle formé entre le plan méridien passant par le soleil et le plan méridien du lieu obtenu par le déplacement angulaire du soleil auteur de l'axe polaire, dans sa course d'Est en Ouest, par rapport au méridien local. La valeur de l'angle est nulle à midi solaire, négative le matin, positive en après-midi et augmente de 15°par heure (donc un tour de 360°en 24 heures).[6]

$$\omega = 15(Ts-12) \quad [2] \qquad \textbf{(I.3)}$$

Tableaux I.2 :l'angle horaire.

heures	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
w	-75	-60	-45	-30	-15	0	+15	+30	+45	+60	+75

I.8. Les coordonnées horizontales

La direction du soleil dans le ciel est repérée par l'intermédiaire de deux angles :

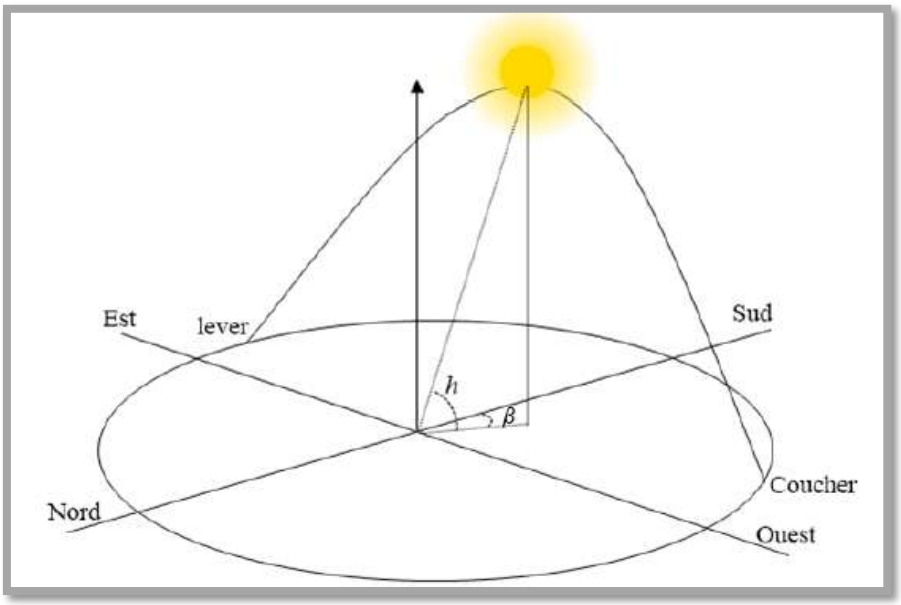


Figure. I. 5 : Position du soleil.

I.8.1.La hauteur angulaire (h)

Qui détermine la longueur de la traversée de la l'atmosphère est l'angle formé par la direction de soleil et le plan horizontal. Sa valeur sera comprise entre 00 (au lever et au coucher) et maximum au zénith (midi en temps solaire vrai), quand le sinus est négatif, c'est que le soleil n'est pas encore levé (la durée des journées varie dans l'année). Il fout donc écrêter cette variable.[6]

$$\sin h = \sin\varphi \ . \sin\delta + \cos\varphi \, . \cos\delta \, . \cos\omega \qquad \textbf{(I.4)}$$

Où l'on rappelle que φ,δ,ω, sont respectivement la latitude du lieu, la déclinaison du soleil et l'angle horaire. De la hauteur h, on peut déduire les heures de lever et de coucher de soleil.[7]

On trouve, en faisant h=0.

I.8.2.Azimut du soleil (ß)

Angle que fait la projection de la direction du soleil avec la direction du sud. Cet angle étant orienté positivement vers l'Ouest.[6]

$$\sin\beta = \frac{\cos\text{б} \, .\sin\text{Б}}{\cos h} \qquad \textbf{(I.5)}$$

I.8.3.La distance zénithale Z

C'est l'angle entre la direction du soleil et la verticale du lieu (zénith).

$$\text{Cos Z} = \sin\delta \,.\, \sin\theta + \cos\delta \,.\, \cos\theta \,.\, \cos\omega. \qquad \textbf{(I.6)}$$

I.8.Notions préliminaires sur le rayonnement solaire

Au niveau du sol le rayonnement global reçu par une surface plane d'inclinaison quelconque est constitué de trois composantes principales. **[**6]

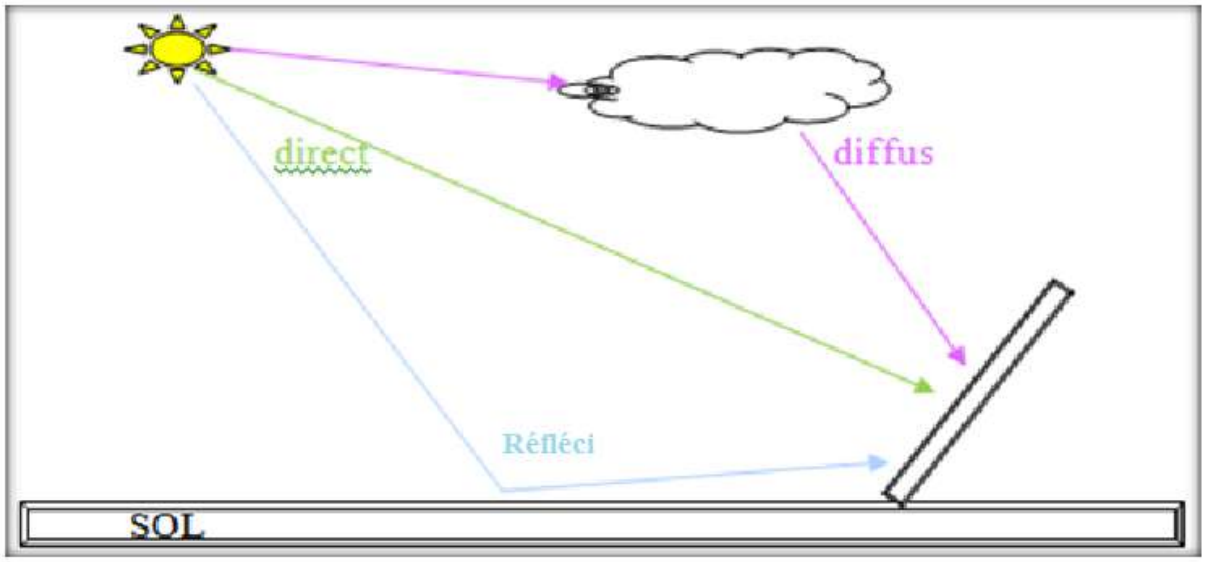


Figure I.6 : Différents composants de rayonnement.[4]

I.8.1. Rayonnement direct

Flux solaire sous forme de rayons parallèles provenant de disque soleil sans avoir été dispersé par l'atmosphère. [6]

I.8.2. Rayonnement diffus

C'est la partie du rayonnement provenant du soleil, ayant subi multiples réflexions (dispersions), dans l'atmosphère. [6]

I.8.3. Rayonnement réfléchi

C'est la partie de l'éclairement solaire réfléchi par le sol, ce rayonnement dépend directement dela nature du sol (nuage, sable...).Il se caractérise par un coefficient propre de la nature de lien appelé Albédo **(ε)**. $\mathbf{0 \leq \varepsilon \leq 1}$ [6]

I.8.4. Rayonnement global

Un plan reçoit de la part du sol un rayonnement global qui est le résultat de la superposition des trois compositions direct, diffus et réfléchi. [6] C'est tout simplement la somme de ces diverses contributions. [19].

I.9. Equation du temps

I.9.1. Temps solaire local

La différence entre temps solaire local et temps universel est appelée correction de longitude La correction de longitude est donnée par la formule.[8]

$$\mathbf{TSL = TU + \frac{\lambda}{15}} \qquad \mathbf{(I.7)}$$

I.9.2. Temps universel

Le temps universel (TU) est défini par l'heure de passage du soleil à la méridienne origine. [8]

$$\mathbf{TU = TSM - \frac{L}{15}} \qquad \mathbf{(I.8)}$$

L : l'longitude

TSM : temps locale

I.9.3.Temps solaire vrai

C'est le temps solaire local corrigé de l'équation du temps, donnée astronomique universelle liée à l'excentricité de l'orbite de la terre autour du soleil. [8].

$$\mathbf{TSV=TSL+DT} \qquad \mathbf{(I.9)}$$

I.9.4 Equation du temps

$$\mathbf{E = ((9.87 \sin(2B) - 7.35 \cos(B) - 1.5 \sin(B)} \qquad \mathbf{(I.10)}$$

L'angle B est défini en fonction du jour de l'année n.

$$\mathbf{B = 360 \frac{(n-81)}{365}} \qquad \mathbf{(I.11)}$$

I.10.Conclusion

Cette étude théorique concernant le gisement .nous avons rappelé des définitions générales sur le rayonnement solaire (caractéristique des rayonnements solaires, les coordonnées terrestres) et nous avons aussi rappelé quelques éléments de géométrie, les différents types de rayonnement, nous avons terminé par des définitions sur les notions de flux, l'intensité lumineuse, et l'éclairement.



Chapitre II

Présentation du système PV étudié

II.1 Introduction

L'énergie solaire est disponible sur l'ensemble du globe terrestre à différente intensité, elle est entièrement renouvelable et inépuisable. Cependant, cette énergie reste tributaire des conditions météorologiques qui rendent son exploitation difficile, et son apport est variable, au gré des jours et des saisons.

Dans ce chapitre nous présentons premièrement la définition de l'énergie solaire suivie de la construction des cellules photovoltaïques. Puis nous nous intéressons à présenter le principe de fonctionnement, et les différents types des cellules photovoltaïques.

La méthode d'étude et analyse consiste à déterminer d'abord la puissance crête qui fournit l'énergie électrique nécessaire pendant le mois le moins ensoleillé (généralement décembre). Elle consiste à déterminer le moment où vous avez besoin d'électricité, et à mesurer votre consommation. Cette étape comporte des études, et demande relativement beaucoup de réflexion car une erreur à ce stade faussera nos résultats jusqu'à la fin.

Donc comment en fait le dimensionnement pour l'alimentation d'une école d'enseignement primaire.

II.2 Définition d'énergie renouvelable

On considère qu'une énergie est renouvelable, toute source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable (d'où son nom) c'est-à-dire, sa vitesse de formation doit être plus grande que sa vitesse d'utilisation.

Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués principalement par le Soleil (l'énergie solaire mais aussi hydraulique, éolienne et biomasse….), la Lune (énergie marémotrice, certains courants : énergie hydrolienne...) et la Terre (géothermique profonde...), à l'échelle de la durée de vie de humanité .Ce n'est pas le cas pour les combustible les fossiles et nucléaires. [9]

II.3 Définition d'énergie solaire

Le soleil est une source quasiment inépuisable d'énergie qui envoie à la surface de la terre un rayonnement qui représente chaque année environ 8400 fois la consommation énergétique. Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré (kwc/m²) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge. Les déserts de notre

planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que n'en consomme l'humanité en une année. L'énergie solaire est produite et utilisée selon plusieurs procédés :

- L'énergie solaire thermique : qui consiste tout simplement à produire de la chaleur grâce à des panneaux sombres. On peut aussi produire avec de la vapeur à partir de la chaleur du soleil puis convertir la vapeur en électricité.
- L'énergie solaire photovoltaïque : qui consiste à produire directement de l'électricité à partir de la lumière à l'aide de panneaux solaires. Cette forme d'énergie est déjà
- exploitée dans de nombreux pays, surtout dans les pays ou les régions ne disposant pas de ressources énergétiques conventionnelles tels que les hydrocarbures ou le charbon.[6]

II.4 Les cellules solaires

Les cellules solaires ont pour rôle de convertir directement le rayonnement lumineux (rayonnement électromagnétique provenant du soleil ou autre) en électricité. Elles s'appuient pour cela sur le phénomène photovoltaïque. On peut décomposer ce phénomène en trois catégories : l'absorption de la lumière dans le matériau, le transfert d'énergie des photons aux charges électriques et la collecte des charges.[10]

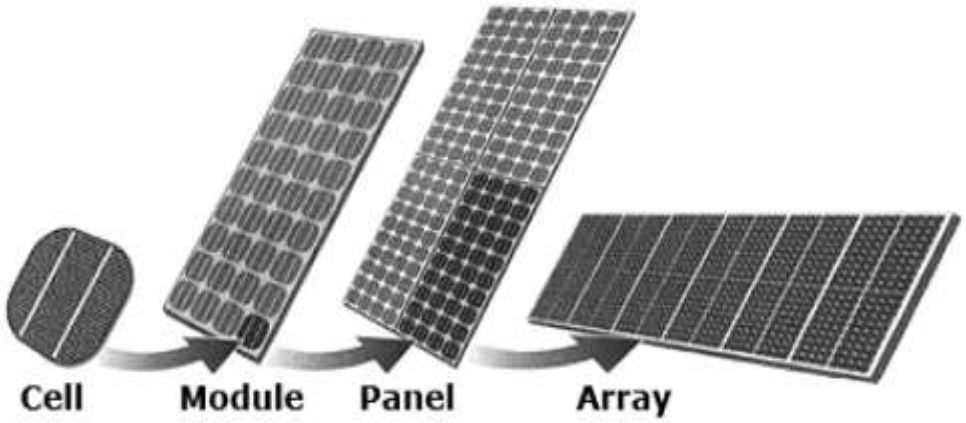


Figure II.1 : Association des cellules.

II.5 Historique des cellules photovoltaïques

Le physicien français Edmond Becquerel décrivit le premier l'effet photovoltaïque en 1839 et Einstein en expliqua les mécanismes en 1912, mais cela resta une curiosité scientifique de laboratoire jusque dans les années 50. Becquerel découvrit que certains matériaux délivrent une petite quantité d'électricité quand on les expose à la lumière.

L'effet fut étudié dans les solides tels que le sélénium par Heinrich Hertz dès les années 1870, avec des rendements de l'ordre de 1%, le sélénium fut rapidement adopté par les photographes comme luxmètre.

De rapides progrès furent obtenus dès les années 1950 par les équipes de Bell Laboratoires qui fabriquèrent la première cellule au silicium cristallin de rendement 4% à partir du procédé de tirage Czochralski. L'industrie des semi-conducteurs contribua largement au développement des cellules solaires. Après tout, une cellule solaire classique n'est rien d'autre qu'une grande diode au silicium ayant la surface de la totalité de la plaquette sur laquelle elle est déposée. La taille des cellules PV accompagna d'ailleurs la progression dela dimension des wafers de l'industrie des circuits intégrés, de 5,08 cm dans le début desannées 70, à 7,62 cm à la fin des années 70, et à 10,16 cm au début des années 80, avant de s'émanciper par la découverte de la croissance de lingots multi cristallins parallélépipédiques qui donnèrent des plaquettes carrées de 10 cm de côté et qui atteignent aujourd'hui couramment 12.5 à 15 cm de côté .[15]

II.6 Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque

L'analogie entre le fonctionnement de la cellule photovoltaïque sous éclairement et celui d'un générateur de courant produisant un courant Iph auquel se soustrait le courant de la polarisation de la diode en polarisation directe, n'es qu'une représentation simplifiée du fonctionnement de la cellule.[11]

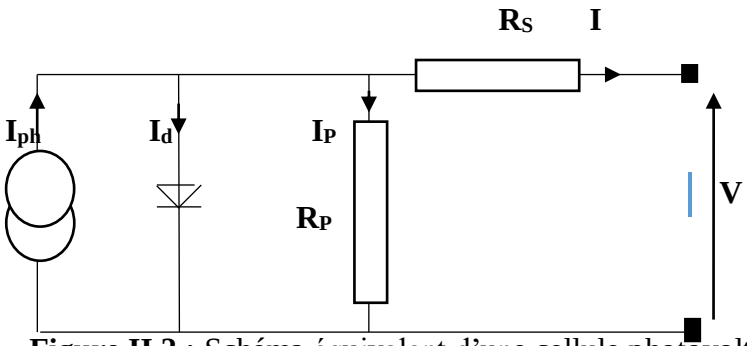


Figure II.2 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque.

Les différents paramètres de ce modèle sont :

- **Le générateur de courant** : il délivre le courant Iph correspondant au courant photogénéré.
- **La résistance série Rs:** elle prend en compte la résistivité propre aux contacts entre les différentes régions constitutives de la cellule. Ce terme doit idéalement être le plus faible possible pour limiter son influence sur le courant de la cellule.
- **La résistance Rp:** également connue sous le nom de court-circuit, elle peut être due à un court-circuit sur les bords de la cellule. On l'appelle aussi résistance de fuite.
- **La diode** : modélise la diffusion des porteurs dans la base de l'émetteur.

II.7 Les différents types de cellules solaires (cellules photovoltaïque)

Il existe différents types de cellules solaires ou cellules photovoltaïques. Chaque type de cellule est caractérisé par a un rendement et un coût qui lui sont propres. Cependant, quel que soit le type, le rendement reste assez faible : entre 8 et 23 % de l'énergie que les cellules reçoivent.

Actuellement, il existe trois principaux types de cellules.[5]

II.7.1 Les cellules monocristallines

Elles ont le meilleur rendement (de 12 à 18% voir jusqu'à 24.7 % en laboratoire). Cependant, elles coûtent trop chers due à leur fabrication complexe.

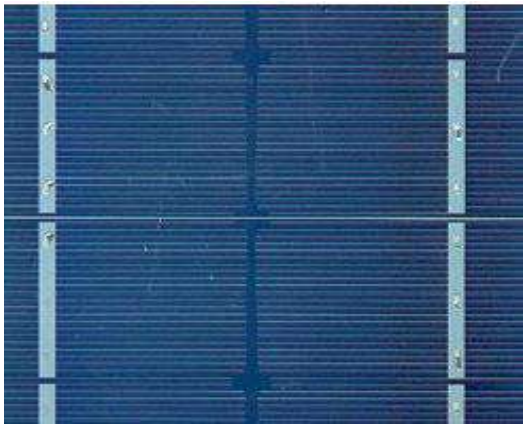


Figure II.3 : Cellule PV monocristalline [14].

II.7.2 Les cellules poly cristallines

Leur conception est plus facile et leur coût de fabrication est moins important. Cependant leur rendement est plus faible : de 11% à 15% jusqu'à 19.8% en laboratoire).

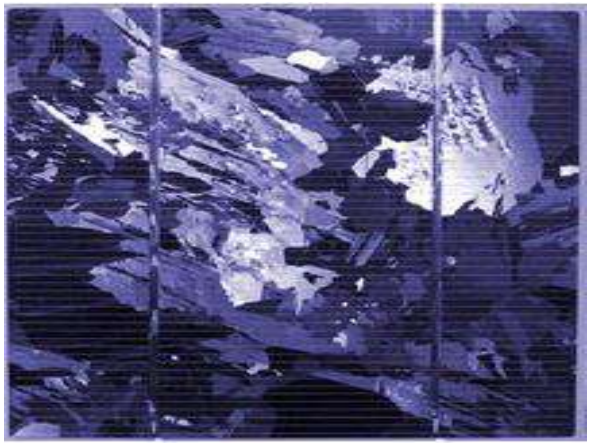


Figure II.4 : Cellule PV poly cristalline [14]

II.7.3 Les cellules amorphes

Elles ont un faible rendement (5% à 8%, 13% en laboratoire), mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont utilisées couramment dans de petits produits de consommation telle que des calculatrices solaires ou encore des montres.

L'avantage de ce dernier type est le fonctionnent avec un éclairement faible (même par temps couvert ou à l'intérieur d'un bâtiment).

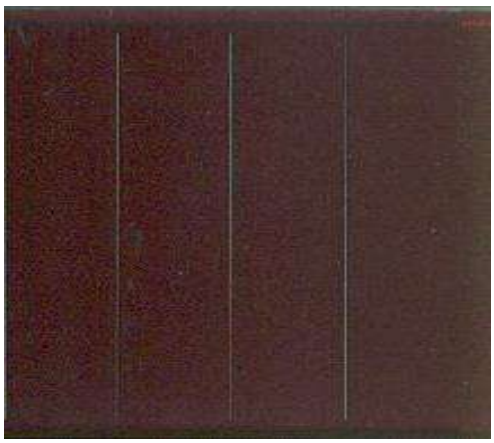


Figure II.5 : Cellule photovoltaïque amorphe.[14]

II.8 Principe de fonctionnement d'une cellule

Le but des cellules photovoltaïques est de convertir l'énergie lumineuse provenant du Soleil en énergie électrique. Ceci se fait en trois étapes

- Absorbation des photons de la lumière solaire.
- Conversion de l'énergie reçue par les photons en énergie électrique (particules électriques libres).
- Collecte les particules dans un circuit électrique externe.

Le matériau constituant la cellule photovoltaïque doit donc posséder deux niveaux d'énergie et être assez conducteur pour permettre l'écoulement du courant, d'où l'intérêt des semi-conducteurs pour l'industrie photovoltaïque.[6]

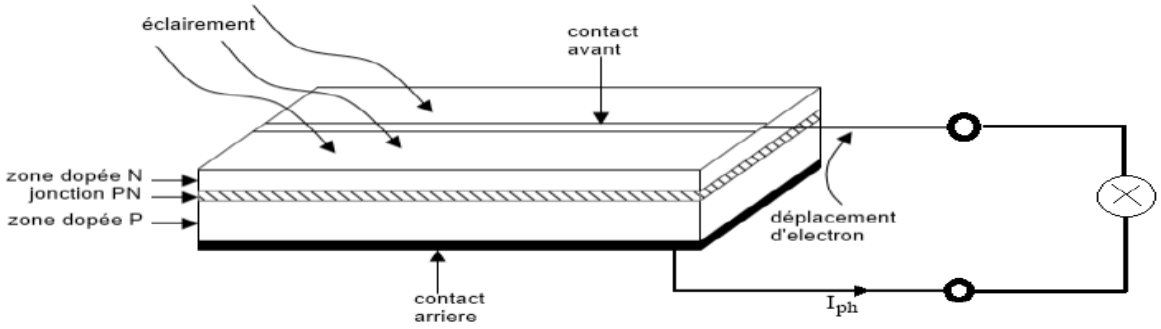


Figure II.6 : Structure d'une cellule photovoltaïque.

En résumé, technologiquement, un capteur PV est proche d'une diode PN de par sa constitution, les matériaux utilisés, et les phénomènes physiques identiques mis en œuvre. Le comportement d'une cellule PV peut donc se modéliser comme celui d'une mauvaise jonction PN autant en statique qu'en dynamique lorsque cette dernière n'est pas éclairée. Pour tenir compte du courant engendré par l'éclairement de la cellule et des différentes résistances modélisant les pertes dues à la connectique, trois termes sont ajoutés I_{sc} R_s et R_p

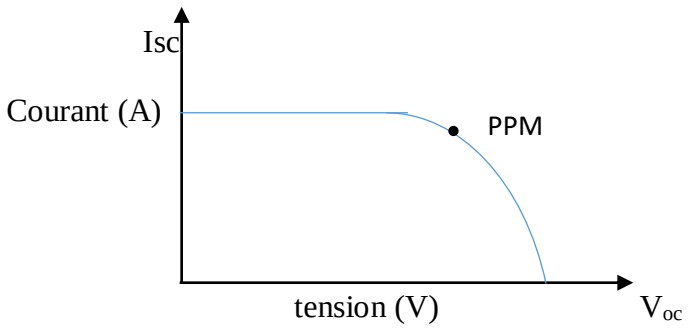


Figure II.7 : Caractéristiques courant-tension de la cellule photovoltaïque.

A partir de la caractéristique I(v) sous éclairement de la cellule photovoltaïque, on déduit les paramètres électriques propres à la cellule et notamment :

- **ISC :** Courant de court-circuit (obtenu pour V = 0).
- **VOC** : Tension en circuit ouvert (obtenu pour I =0).
- Le point de fonctionnement optimal PPM (la puissance maximale de la cellule).

II.9 Regroupement des cellules

II.9.1 Regroupement en série

Une association de (Ns) cellule en série figure (II.8) permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque. Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenues par addition des tensions élémentaires de chaque cellule. L'équation résume les caractéristique électriques d'une association série de (Ns) cellules. [12]

$$\mathbf{V_{coNs} = Ns \times Vco} \qquad \textbf{(II.1)}$$

$$\mathbf{I_{cc} = I_c} \qquad \textbf{(II.2)}$$

V_{coNs} : la somme des tensions en circuit ouvert de Ns cellules en série.

I_{ccNs} : courant de court-circuit de Ns cellules en série.

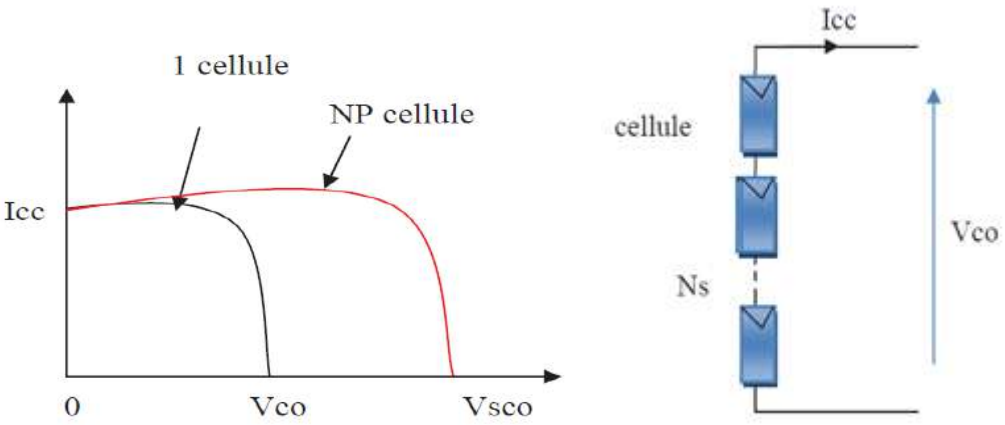


Figure II.8 : Caractéristique courant tension de Ns cellule en série.

II.9.2 Regroupement en parallèle

Une association parallèle de (NP) cellule figure (II.9) est possible et permet d'accroitre le courant de sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants.

$$I_{CC}N_P = N_P \times Isc \quad \textbf{(II.3)}$$

$$Vco = V_{coNP} \quad \textbf{(II.4)}$$

Avec : IccNp: la somme des courants de cout circuit de (N_P) cellule en parallèle.

V_{coNp}: tension du circuit ouvert de (Np) cellules en parallèle.

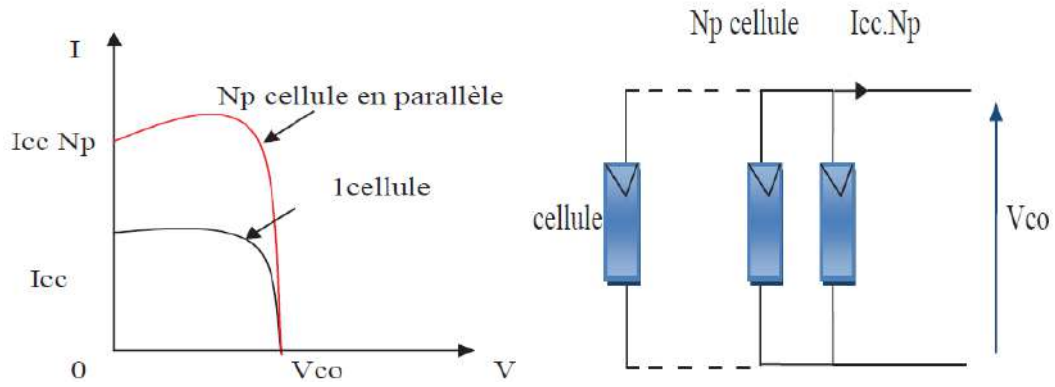


Figure II.9 : Caractéristique courant tension de (Np) cellule en parallèle.

II.9.3 Regroupement (série et parallèle)

On utilise généralement ce type d'association pour en tirer une tension importante Puisque l'association en série des photopiles délivre une tension égale à la somme des Tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule. La caractéristique d'un groupement de deux modules solaires est représenté ci-dessous, ce qui peut être généralisé Sur une gamme de Ns modules solaires en série. Ce genre de groupement augmente le courant. Afin d'obtenir des puissances de quelques kW, sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en panneaux et de monter les panneaux en rangées de panneaux série.

II.10 Modélisation d'une cellule photovoltaïque

II.10.1 Cellule photovoltaïque idéal

Une cellule photovoltaïque peut être décrite de manière simple comme une source idéale de courant qui produit un courant IPh proportionnel à la puissance lumineuse incidente, en parallèle avec une diode figure(I1.8) qui correspond à l'aire de transition p-n de la cellule PV. Après la loi de nœuds **:**[12]

$$\mathbf{I = Iph - Id} \qquad \mathbf{(II.5)}$$

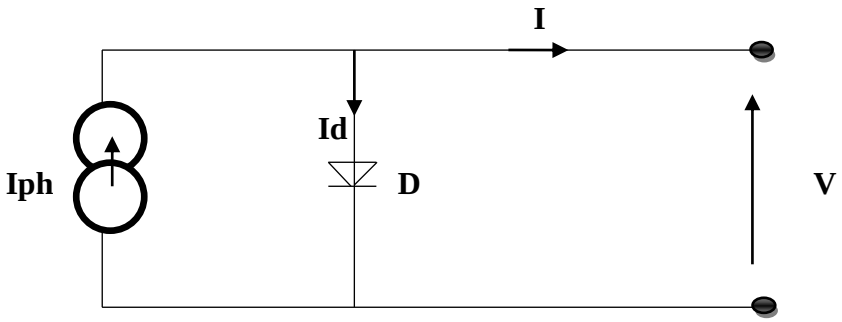


Figure II.10 : Modèle de cellule photovoltaïque idéal.

Pour un générateur PV idéel, la tension aux bornes de la résistance est égale à celle aux bornes de la diode : $\mathbf{V=V_d}$ **(II.6)**

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

$$\mathbf{I_d = I_0 . (exp\left(\frac{V_d}{V_t}\right) - 1)} \mathbf{(II.7)}$$

Avec : $\mathbf{I_0}$: Le courant de saturation inverse de la diode.

$\mathbf{V_d}$: La tension à la borne de diode.

$\mathbf{V_t}$: KT/q potentielle thermique.

Donc :

La relation (II.1) sera :

$$\mathbf{I = I_{ph} - I_0 . (exp\left(\frac{V_d}{V_t}\right) - 1)} \qquad \mathbf{(II.8)}$$

II.10.2 Cellule photovoltaïque réel

Le model photovoltaïque précédent ne rendait pas compte de tous les phénomènes présents lors de la conversion d'énergie lumineuse. En effet, dans le cas réel, on observe une perte de tension en sortie ainsi que des courants de fuite, on modélise donc cette perte de tension par une résistance en série $\mathbf{R_S}$et les courants de fuite par une résistance en parallèle $\mathbf{R_P}$

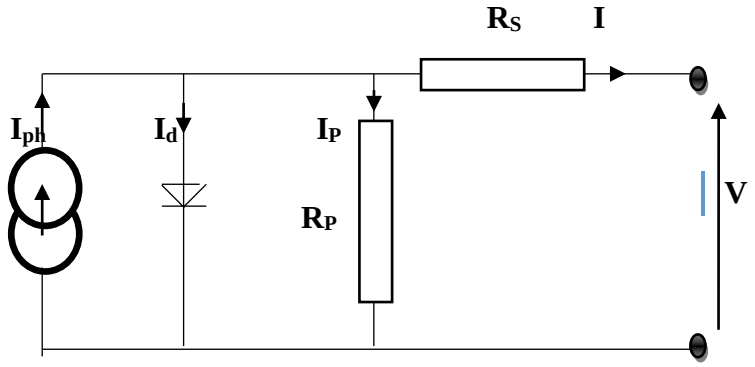


Figure II.11 : Modèle de la cellule photovoltaïque réel.

Donc on a :

$$\mathbf{I = I_{ph} - I_d - I_p} \qquad \textbf{(II.9)}$$

$$\mathbf{I_P = \left(\frac{V+R_S.I}{R_P}\right)} \qquad \textbf{(II.10)}$$

$$\mathbf{I_d = I_0.\left(exp\left(\frac{V+R_S.I}{V_t}\right) - 1\right)} \qquad \textbf{(II.11)}$$

Avec :

- **I**: Le courant fourni par la cellule
- $\mathbf{I_{ph} = I_{sc}.\left(\frac{G}{1000}\right)}$: Le photo-courant dépendant de l'éclairement (G).
- $\mathbf{I_0}$: Le courant de saturation de la diode.
- **K**: constante de Boltzmann (1,381 $.10^{-23}$ joule/Kelvin).
- **q** : charge d'électron =1,602 $.10^{-19}$ C.
- **n**: Le facteur de qualité de diode.
- **T** : La température de cellule en kelvin.

Donc (II.5) sera :

$$\mathbf{I = I_{ph} - I_0.\left(exp\left(\frac{V+R_S.I}{V_t}\right)-1\right)-\left(\frac{V+R_S.I}{R_P}\right)} \qquad \textbf{(II.12)}$$

II.11 Module PV

Le module PV est donc composé de plusieurs cellules associées en série et/ou parallèle, disposées en rangées. Cet assemblage de cellules se fait de manière différente suivant les technologies.[10]

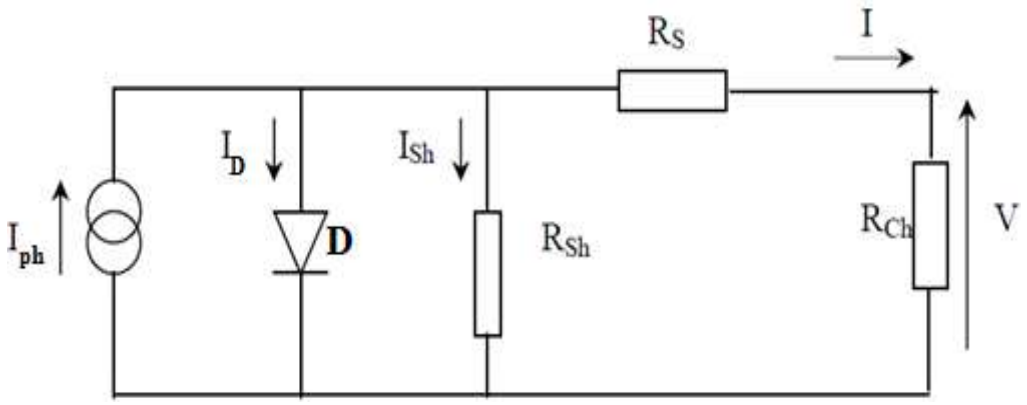


Figure II.12 : Schéma équivalent du module.

$$I=f(v) \qquad \textbf{(II.13)}$$

Pour produire plus de puissance, les cellules solaires sont assemblées pour former un module Les connections en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. [9]
Les modules photovoltaïques assurent les fonctions suivantes :

- Protection des cellules contre les agents atmosphériques
- Protection mécanique et support.
- Connexion électrique entre cellules et avec l'extérieur. [9]

II.11.1 Caractéristiques d'un module

La puissance de crête, Pc : Puissance électrique maximum que peut fournir le moduledans les conditions standards (25°C et un éclairement de 1000 W/m²).
La caractéristique I/V : Courbe représentant le courant I débité par le module enfonction de la tension aux bornes de celui-ci.
Tension à vide, Vc0 : Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pourun éclairement " plein soleil ".
Courant de court-circuit, Icc : Courant débité par un module en court-circuit pour unéclairement " plein soleil ".

Point de fonctionnement optimum, (Um, Im) : Lorsque la puissance de crête estmaximum en plein soleil, Pm = Um x Im.

Rendement : Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente.

Facteur de forme : Rapport entre la puissance optimale Pm et la puissance maximaleque peut avoir la cellule : Vco x Icc. [16]

II.11.2 Le câblage de modules au silicium cristallin

Pour connecter les cellules en série, on relie grâce à un contact à base d'étain ou d'argent le contact(-) en face avant d'une cellule au (+) de la face arrière de la cellule suivante. Une fois ces connexions faites, on encapsule les cellules dans une résine, la plupart du temps de l'EVA (éthylène-vin-ylacétate), transparente et d'indice proche de celui du verre. Cette enrobage est pris en sandwich entre deux supports, en face avant, du verre trempé à haute transmission dans la bande de longueur d'onde de 350 à 1200 nm (si on ajoute une couche anti-réflexion, il en résulte une transmission qui peut aller jusqu'à 96%), en général de 3-4 mm d'épaisseur, et, en face arrière, un film plastique, souvent une feuille de tedlar-aluminium-tedlar ou dumylar ou encore aussi du verre. La face avant doit pouvoir résister à la grêle, aux UV et à toutes les intempéries, dans le temps (25 ans), il faut aussi protéger la face arrière, la sortie des connexions ainsi que les bords du panneau contre toutes les agressions atmosphériques, l'humidité, etc. L'encapsulation affecte également le rendement des modules en raison de ses propriétés optiques qui peuvent parfois se dégrader au cours du temps.

L'assemblage des cellules est une étape cruciale au regard de la durée de vie du module car c'est lefacteur principal de dégradation. **[**10]

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

L'encapsulation ainsi réalisée va avoir deux rôles principaux :

- ✓ Protection des cellules contre les agressions extérieures (chocs, humidité, etc. ...).
- ✓ Contrôle de température des cellules qui va permettre une bonne dissipation vers

L'extérieur de la partie de l'énergie incidente qui n'est pas transformée en énergie électrique.[15]

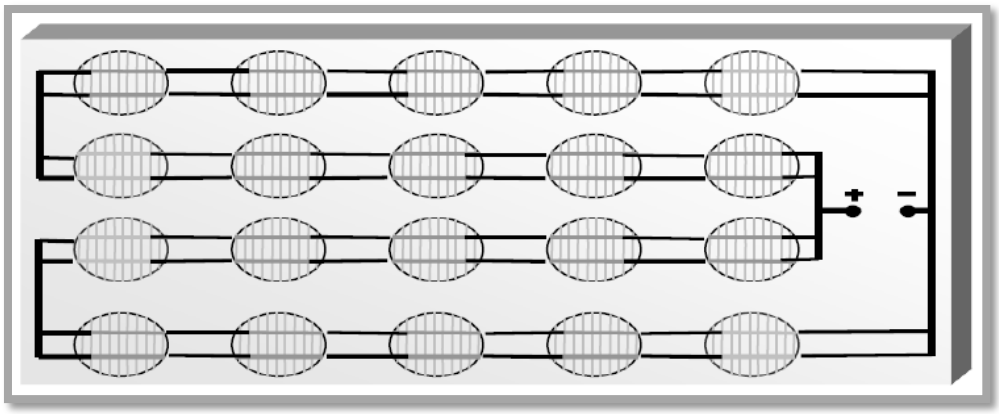


Figure 1I.13 : Module PV en groupement série - parallèle des cellules.[10]

II.12 Panneau photovoltaïque

Le panneau solaire ou (champ solaire) se compose de modules photovoltaïques interconnectés en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise. Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique. [17]

II.12.1 Constitution d'un générateur photovoltaïque (GPV)

Actuellement la puissance d'un module est de quelques watts crêtes à quelques dizaines de watts crêtes. Pour obtenir des puissances supérieures, il est nécessaire d'associer en série-parallèle des modules (figure 1I.14) pour avoir un générateur PV. Pour des déséquilibres importants dus à l'occultation d'une ou plusieurs cellules, les modules peuvent être amenés à travailler en récepteur. Pour remédier à ces problèmes, des diodes peuvent être placées en parallèle et en série avec les modules.[15]

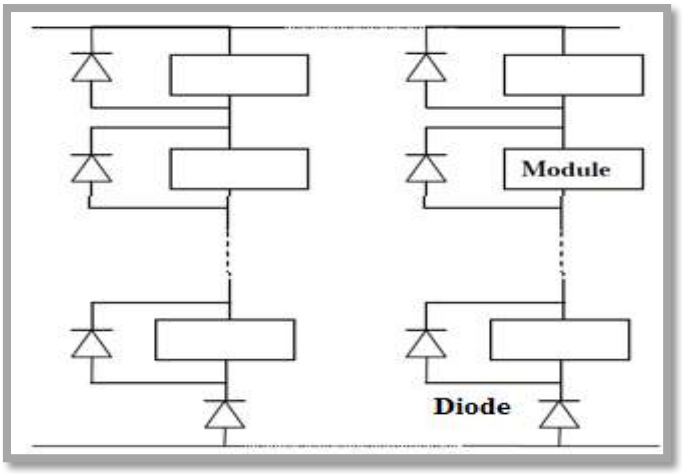


Figure 1I.14 : Schéma synoptique d'un générateur PV.

Ce qui concerne la protection des panneaux solaires, 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 utilisées dans les installations actuelles : 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. [14]

- **Les diodes en série**

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

- **Les diodes en parallèles**

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

II.13 L'effet de l'ombrage partiel

Un effet qui peut être plus dévastateur pour le module qu'une inadéquation de cellules lors de l'assemblage est l'ombrage partiel.

Dans le cas où le module n'est pas exposé de manière uniforme à la lumière, il peut se déséquilibre :

- Soit I_{sc} de la cellule ombragée est supérieur à celui des diodes non ombragées et dans ce cas la puissance délivrée par le module est uniquement dictée par la cellule de plus faible puissance.
- Soit I_{sc} de la cellule ombragée est inférieure à celui des diodes non ombragées, alors la cellule ombragée deviendra récepteur et devra dissiper l'énergie fournie par les autres cellules non ombragées.[10]

II.14 Avantage et inconvenants des PV

II.14.1 Avantage

Les avantages des photovoltaïques sont plusieurs et leur application se développe d'un moment à l'autre, parmi eux on site : [14]

- une haute fiabilité ou l'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- leur montage est simple et ses installations sont adaptables aux besoins de chaque projet.
- le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits. il ne nécessite ni combustible, ni un transport, ni un personnel hautement spécialisé.
- ils sont recyclables, les matériaux utilisés pour leur production peuvent être réutilisés. Le recyclage n'est pas seulement bénéfique pour l'environnement, il contribue également à réduire l'énergie nécessaire pour produire plus de matériaux.
- L'énergie solaire photovoltaïque peut être intégrée de manière esthétique dans les bâtiments. Les modules solaires peuvent être en façades, contribuant ainsi à l'autonomie énergétique des bâtiments.
- Il s'agit d'une source d'énergie électrique totalement silencieuse.
- L'énergie solaire captée par la terre pendant une heure pourrait suffire à la consommation mondiale pendant une année. Au total, ce rayonnement représente 1.6 milliards de TWh, soit huit mille fois la consommation énergétique annuelle mondiale.

II.14.2 Inconvenants

Malgré les avantages que les générateurs photovoltaïques présentent, des points faibles peuvent se manifester au niveau de fonctionnement et de la fabrication :[14]

- une fabrication d'un module photovoltaïque relève une haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 %, avec une limite théorique pour une cellule de 28%. Les générateurs photovoltaïques ne sont pas compétitifs par rapport aux générateurs diesels.
- restent cependant équivalentes pour autant que la batterie et les composants de régulation associés soient judicieusement choisis.

- La durée de vie d'une installation photovoltaïque n'est pas éternelle mais de l'ordre de 20 à 30 ans. De plus, le rendement des cellules photovoltaïques diminue avec le temps.
- Le niveau de production d'électricité n'est pas stable. Il n'est pas prévisible, il dépend du niveau d'ensoleillement. Cependant la production d'électricité n'est pas constante.

II.15 Systèmes photovoltaïques autonomes

Les systèmes autonomes dépendent uniquement de l'énergie solaire pour répondre à la demande d'électricité. L'énergie produite par les modules photovoltaïques au cours de la journée peut être utilisée immédiatement ou emmagasinée dans les accumulateurs, servant la nuit ou pendant des périodes à ciel couvert où dans le cas insuffisance d'énergie solaire, ciel partiellement couvert, permettant la couverture des besoins énergétiques de la charge**.** [13]

Généralement une installation photovoltaïque autonome est constituée du générateur PV, du stockage, de la charge, du régulateur et éventuellement des interfaces de conversion continu alternatif (figure II.15). [15]

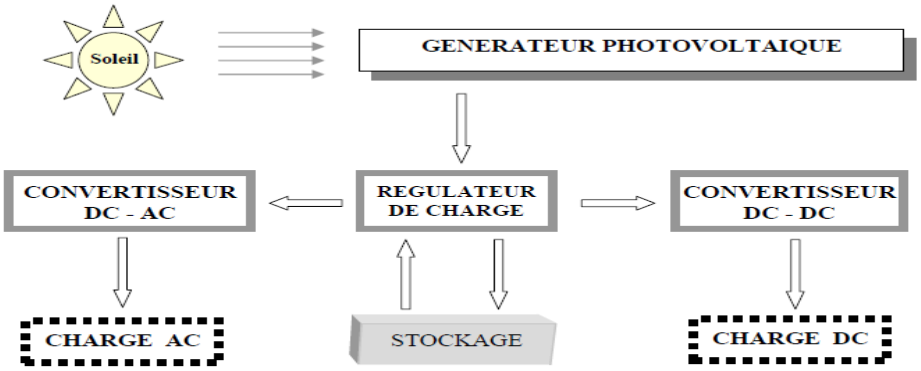


Figure II.15 : Systèmes photovoltaïques autonome. [15]

Les systèmes photovoltaïques peuvent être adaptés pour répondre à tous besoins, petits ou grands.

Les installations autonomes peuvent avoir des dimensions, ou alimenter les besoins d'une collectivité, d'un village, école. [19].

II.15.1 Système autonome sans batterie

Ce type de système ne requiert pas de stockage d'électricité, soit parce que la production d'énergides cellules est suffisante sous un faible éclairage (ex. : calculatrice), soit

que le temps de fonctionnement de la charge n'est pas critique (ex.: pompe à eau: le réservoir d'eau sert de stockage). [18]

II.15.2 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. Par exemple, ce système est bien adapté pour l'éclairage d'une maison où il faut de l'électricité lorsqu'il ne fait plus jour. [18]

II.15.3 Classement des systèmes isolés

La puissance délivrées par le système isolé peut varie de quelque KW des applications domestique jusqu'à quelque méga watts.[25]

- **System autonome :** faible de puissance < 10 kW.
- **Micro réseau isolé :** puissance moyenne 10 à 100 kW.
- **Grand réseau isolé:** grand puissance > 100 KW.

II.15.4 Batterie solaire

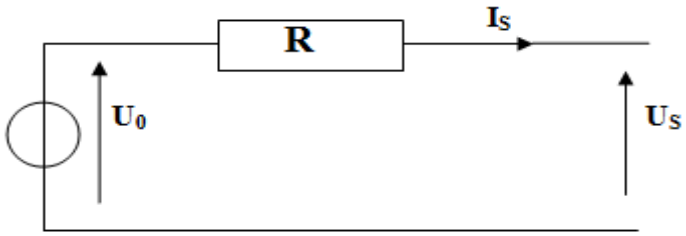


Figure II.19 : Schéma équivalent d'une batterie.

La batterie sert à stocker l'énergie produite par le champ de modules PV. Il y a nécessité de stockage chaque fois que la demande énergétique est décalée dans le temps vis-à-vis de l'apport énergétique solaire. En effet, la demande énergétique est fonction de la charge à alimenter, les appareils utilisés fonctionnent soit en continu, soit à la demande, l'apport énergétique solaire est périodique (alternance jour/nuit, été/hiver) et aléatoire (conditions météorologiques).

Ce décalage entre la demande et l'apport énergétique nécessite un stockage d'électricité.

Le système tampon utilisé le plus couramment pour les systèmes photovoltaïques est la batterie d'accumulateurs électrochimiques. [18]

Les batteries sont utilisées pour stocker l'énergie électrique sous une forme chimique. Elles restituent l'énergie électrique au besoin selon ses caractéristiques

- Capacité de stockage (Ah) (selon temps de décharge Cn) où (n : nombre d'heures pour la décharge).
- Tension nominale (V).
- Durée de vie (Nombre de cycles).
- Courant de charge et de décharge (A).

Dans un système photovoltaïque, la batterie remplit trois fonctions importantes : [18]

- **Autonomie**

Une batterie permet de répondre aux besoins de la charge en tout temps, même la nuit ou par temps nuageux.

- **courant de surcharge**

Une batterie permet de fournir un courante surcharge pendant quelques instants, c'est-à-dire un courant plus élevé que celui que peut fournir le champ PV. Ceci est nécessaire pour faire démarrer les moteurs et les autres appareils requérant un courant de démarrage de 3 à 5 fois supérieur au courant d'utilisation.

- **Stabilisation de la tension**

.Une batterie permet de fournir une tension constante, en éliminant les écarts de tension du champ PV et en permettant aux appareils un fonctionnement à une tension optimisée.

II.15.4.1 Laison des batteries

Dans la pratique, les batteries sont généralement connectées entre elles pour fournir la capacité et la tension requises. Ils peuvent être connectés soit en série, soit en parallèle. Dans la plupart des cas, la tension d'une batterie est de 12V, 24V ou 48V. [22]

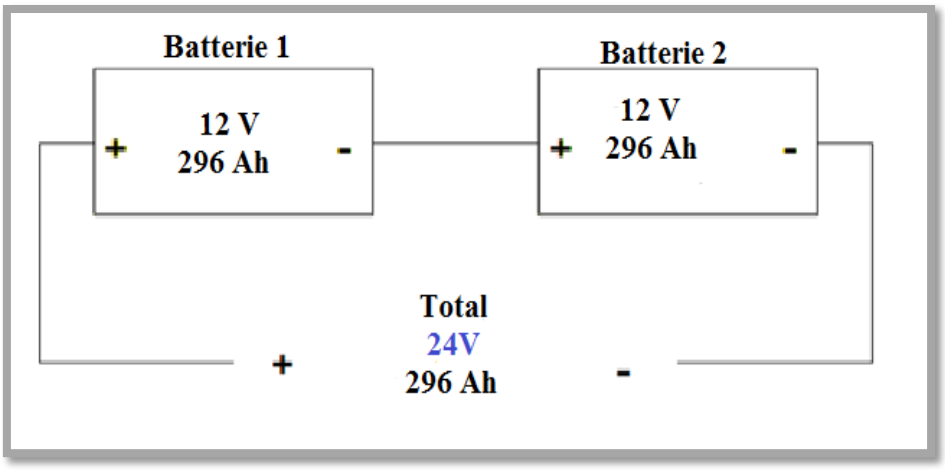


Figure II.20 : les batteries sont connectées en série.

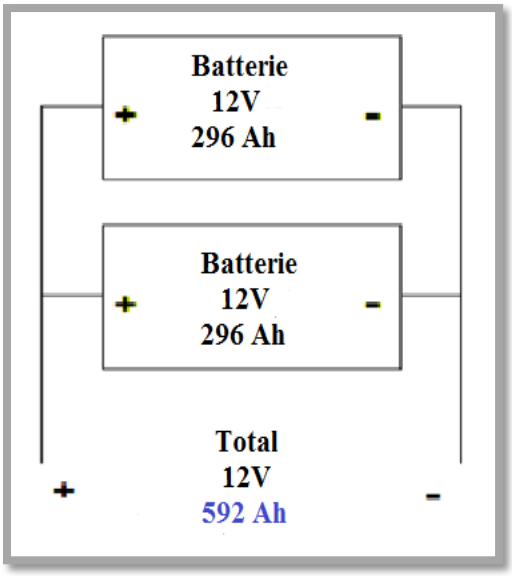


Figure II.21 : les batteries sont connectées en parallèle.

Il est recommandé de connecter les batteries en série plutôt qu'en parallèle, car lorsque les batteries sont connectées en parallèle, la petite différence due à la résistance, à la longueur et à l'intégrité entraîne une inégalité d'électricité pour les batteries. Pour surmonter ce déficit, lorsqu'il est connecté en parallèle, la connexion externe doit être faite à partir de bornes

Positives et négatives sur les côtés opposés de la banque de PV. La connexion est présentée à la figure III.8.

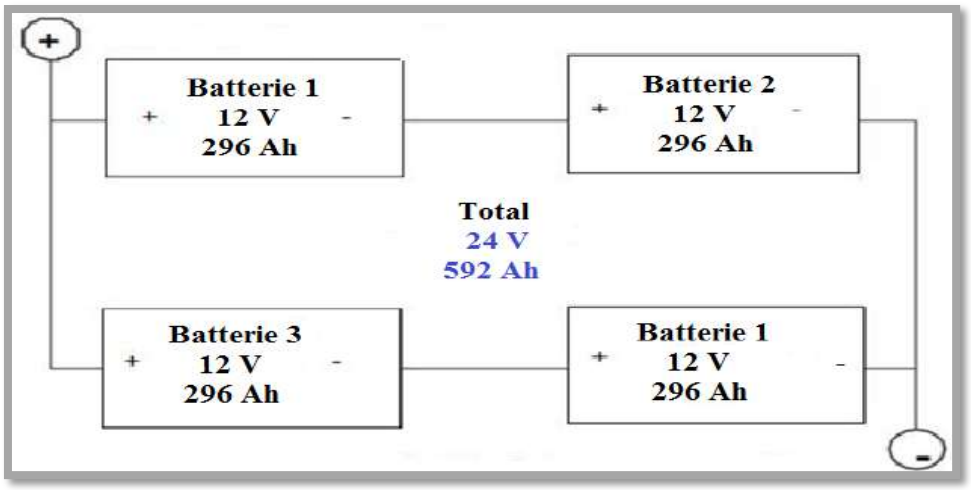


Figure II.22 : les connexions en série et en parallèle sont combinées.

II.15.4.2 Utilisation d'une batterie solaire

Il existe trois grandes utilisations pour les accumulateurs :

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

II.15.4.3 Principe de fonctionnement

Une réaction chimique intervient lorsque la batterie alimente une charge connectée à ces deux électrodes. Pendant la décharge, il y a une oxydation à la plaque négative qui se traduit par une perte d'électrons et réduction à la plaque positive ou gain d'électrons. L'électrolyte en présence dans la batterie facilite le déplacement des charges, electrochimiques sous forme d'ions. Le processus inverse se produit quand la batterie se recharge on voit apparaître immédiatement une force électromotrice entre les deux électrodes. Les équations des réactions suivantes décrivent la réaction principale : [23]

- **Electrode Positive :** $PbO2 + 3H+ + HSO4- + 2e- \Leftrightarrow PbSO4 + 2H2O$.
- **Electrode négative :** $Pb + HSO4- \Leftrightarrow PbSO4 + H+ + 2e-$.
- **Réaction :** $Pb + PbO2 + 2H+ + 2HSO4- \Leftrightarrow 2PbSO4 + 2H2O$.

La batterie la plus utilisée est l'accumulateur au Plomb-acide de durée de vie limitée. Il constitue l'élément le plus vulnérable du système P.V et exige une bonne maintenance et un bon contrôle de ses paramètres de fonctionnement (tension, état de charge, densité, gaz

édification …). Son dimensionnement se fait différemment d'une région chaude à une région tempérée et une période d'autonomie (période continue d'absence de rayonnement) est prise en compte. L'énergie stockée dans la batterie vaut**.** [24]

II.15.4.4 Caractéristiques des batteries

Les systèmes photovoltaïques exigent habituellement des batteries qui peuvent être chargées pendant le jour et déchargées durant la nuit. Ces batteries doivent pouvoir fonctionner ainsi pendant des années sans marquer plus qu'une détérioration minimale de leur rendement, tout en satisfaisant la demande, les jours où il n'y a que peu ou pas de soleil. Il y a donc deux paramètres importants à considérer lors de la conception du système : [18]

- **Jours d'autonomie (réserve) :** nombre de jours pendant lesquels la batterie doit fournir la puissance requise sans être rechargée ni subir de dommages.
- **Fonctionnement à cycle de décharge faible ou profonde :** autonomie assurée soit par une batterie de grande capacité à faible décharge (cycle à faible décharge), soit par une batterie de capacité moindre à décharge profonde (cycle à décharge profonde).

La corrélation de ces paramètres s'exprime comme suit :

$$C = C_h \times R/P_d \qquad \textbf{(II.14)}$$

C_h : charge quotidienne (en Ah).

R : réserve ou jours d'autonomie.

P_d : profondeur de décharge pour chaque cycle.

C : capacité de la batterie (en Ah).

II.15.5 Le régulateur

Différents systèmes électroniques sont utilisés pour protéger la batterie contre une charge trop élevée ou une décharge trop profonde**. [18]**

Le régulateur de charge / décharge est le composant électronique auquel sont reliés les modules solaires, la batterie, ainsi que l'onduleur. Sa fonction principale consiste à contrôler l'état de charge de la batterie en éliminant tout risque de surcharge et de décharge profonde

Il doit permettre un fonctionnement en « floating » de l'accumulateur pour éviter une condensation de la matière active et une mauvaise densification de l'électrolyte.

On distingue plusieurs types de régulateurs :[22]

a. L'autorégulateur

La régulation se fait en adaptant le générateur P.V. avec la batterie en court-circuitant quelques modules pour optimiser la charge de la batterie.

b. Le régulateur shunt

Utilisé dans des installations de faible puissance où il intervient en dérivation sur le générateur photovoltaïque.

c. Le régulateur série

L'élément de coupure est un relais électromagnétique qui déconnecte complètement le générateur photovoltaïque lorsque le seuil limite de tension est atteint. La batterie est remise en charge à partir d'un seuil de tension inférieur.

d. Le régulateur à déconnexions partielles

La déconnexion du champ se fait de façon graduelle pour permettre à la batterie d'approcher une charge idéale et d'éviter une brusque annulation du courant de charge.

II.15.5.1 Rôle de la régulation dans les systèmes photovoltaïques

Le régulateur assure deux fonctions principales :

- La protection des batteries contre les surcharges et les décharges profondes.
- L'optimisation du transfert d'énergie du générateur PV à l'utilisation. [15]

II.15.6 Commande MPPT

Un MPPT, de l'anglais « Maximum PowerPoint Trekking » est un principe permettant de suivre, comme son nom l'indique, le point de puissance maximale d'un générateur électrique non linéaire. En conséquence, pour un même éclairement, la puissance délivrée sera différente selon la charge. Un contrôleur MPPT permet donc de piloter le convertisseur statique reliant la charge (une batterie par exemple) et le panneau photovoltaïque de manière à fournir en permanence le maximum de puissance à la charge chaque instant. [17]

II.16 Systèmes photovoltaïques relié au réseau éléctrique

Dans les années 80 est apparue la pratique d'échange d'énergie avec le réseau. De cette façon, les installations photovoltaïques peuvent se dispenser d'un système de stockage par batteries; le réseau se comporte donc comme un stockage virtuel d'énergie. En plus de sa fonction traditionnelle de répartiteur de l'énergie produite par les gros producteurs, le distributeur assure main tenant le rôle de compensateur entre les excédents et les insuffisances

de la production d'électricité d'origine solaire.[19]

II.16.1 Système PV sur réseau decentralise

Ce système photovoltaïqueest branché directement sur un réseau électrique, mais il est installéprès de la demande. IL peut être installé, par exemple, sur unerésidence individuelle ou sur un centre commercial, de telle sortequ'il alimente cette charge et fournit l'excédent de sa productions le réseau Durant le jour. Durant la nuit, la charge puise l'énergierequise sur le réseau. Ce système permet de diminuer les frais de transport d'électricité et la surcharge de ligne, particulièrement ence qui a trait aux charges adaptées à la production photovoltaïquetels les systèmes d'air conditionné (gestation de la demande).[18]

II.16.2 Système PV centralisé

Ce système fonctionne comme une Centrale électrique normal mais doit tenir compte de la fluctuation de la production d'énergie qui est liée à l'ensoleillement.[18]

II.16.3 Eléments constitutifs d'une installation connecté au réseau

Elle est constituée de trois éléments essentiels [29]

• Les panneaux photovoltaïques

• Un onduleur synchrone qui transforme le courant pour qu'il soit compatible avec les caractéristiques du réseau. C'est "l'interface" entre l'installation et la compagnie d'électricité.

• Un compteur d'énergie (en fait, en général, deux compteurs dans le cas des installations décentralisées).

• Accessoires.

II.16.4 Classifications des centrals photovoltaïques relies auréseau

Une première classification des (*CPCR)* en fonction de leur taille peut être faite de la manière suivante**.** [20]

- **Centrales de petite taille (Pw=1 à 10KW)**

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

- **Centrales de taille moyenne (Pw=10 à 100KW)**

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

- **Centrales de grande taille (Pw > 500 KW)**

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

II.16.5 Perturbations des réseaux électriques

L'énergie électrique est fournie sous forme de tension constituant un système sinusoidal triphasé dont les parameters caractéristiques sont les savants. [20]

- Lafréquence.
- L'amplitude des troistensions.
- La forme d'onde qui doit être la plus proche possible d'unesinusoïde.
- La symétrie du système triphasé (égalité des modules des trios tensions, leur déphasage et l'ordre de succession desphases).

II.16.6 Les onduleurs

Un onduleur est un convertisseur statique qui permet la transformation de l'énergie de type continue, en une énergie alternative. La forme de la tension de la sortie de l'onduleur c'est sinusoïde. [17]

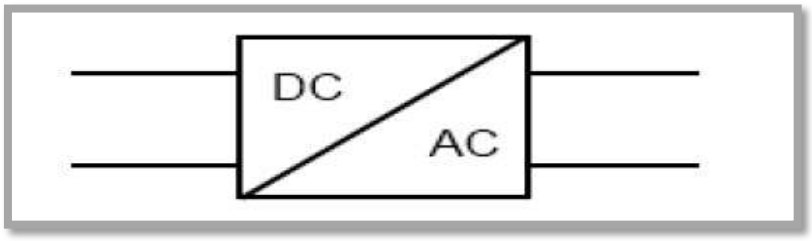


Figure II.17 : Symbole de convertisseur DC-AC monophasé et triphasé.

II.16.6.1 Principe de fonctionnement d'un onduleur

Un onduleur est un dispositif électronique assurant la conversion statique d'une tension/courant continu en tension /courant alternatif. Il est dit autonome s'il assure de lui-

même sa fréquence et sa forme d'onde .Deux types d'onduleurs sont donc utilisés pour assurer une telle conversion. [12]

a. Onduleur Monophasé

Ce type d'onduleur délivrant en sa sortie une tension alternative monophasée, est généralement destinée aux alimentations de secours. Deux classes d'onduleurs monophasés sont à distinguer, suivant leur topologie. Onduleur monophasé en demi-Pont. Et onduleur monophasé en pont (Pont H).

b. Onduleur triphasé

Ce type d'onduleur est généralement recommandé pour des applications de grande puissance. La structure de tel convertisseur se fait par l'association, en parallèle, de trois onduleurs monophasés en demi pont (ou en pont) donnant trois tensions de sortie déphasées de 120° degrés, l'une par rapport à l'autre.

II.16.6.2 Classification des onduleurs

II existe plusieurs schémas d'onduleurs, chacun correspondant à un type d'application déterminé ou permettant des performances recherchées. Les onduleurs sont en général classés selon les modes de commutation de leurs interrupteurs. Et les onduleurs sont classés selon le mode de commutation. [17][21]

1. Onduleur autonome

C'est un système qui nécessite des composants commandés à la fois à la fermeture et à l'ouverture, de fréquence variable, dont les instants de commutation sont imposés par des circuits externes. La charge est quelconque. Cet onduleur n'est pas réversible. [21]

2. Onduleur non autonome

Les composants utilisés peuvent être de simples thyristors commandés uniquement à la fermeture et la commutation est "naturelle" contrairement à l'onduleur autonome. [21]

L'application principale de ce type d'onduleur se trouve dans les variateurs pour moteurs synchrones de très forte puissance où les thyristors sont souvent les seuls composants utilisables. [22]

On peut conclure que l'alimentation par un réseau triphasé ne permet pas ces commandes une fréquence constante, alors on fait recours à l'alimentation par un convertisseur statique délivrant une tension d'amplitude et de fréquence variables**.**

L'onduleur couplé au réseau est utilisé pour les installations photovoltaïques. Il permet de transformer la tension continue produite par les modules solaires, en une tension ondulée

conforme à celle du réseau. Il adapte également le courant produit à la fréquence et à la tension du réseau. [21]

3. **Onduleur de tension**

   La source DC impose la tension, la charge AC impose le courant sinusoïdal.[17]

4. **Onduleur de courant**

   La source DC impose le courant, la charge AC impose la tension sinusoïdale. [17]

II.16.6.3 Différentes topologies des installations les onduleurs

Les onduleurs ne se limitent plus seulement à transformer la puissance continue générée par les panneaux solaires en puissance alternative sous forme d'une tension (DC) de fréquence souhaitée (par ex. 230V/400V - 50Hz) mais ils exploitent sinusoïdale délivrée par le GPV en le forçant à fonctionner à son point de également la puissance assurent une e surveillance fiable du réseau pour puissance maximum. De plus, ils interrompre l'alimentation en cas de protéger ce dernier contre les pannes et actuellement, il existe problèmes survenant soit du réseau soit de l'installation. Solutions techniques principalement trois architectures d'onduleurs donnant de bonnes. [9] [21]

- ✓ Un seul onduleur pour toutes les installations (onduleur simple ou central)
- ✓ Un onduleur string (pour chaque string)
- ✓ Installations multi-onduleurs (installations multi-onduleurs)

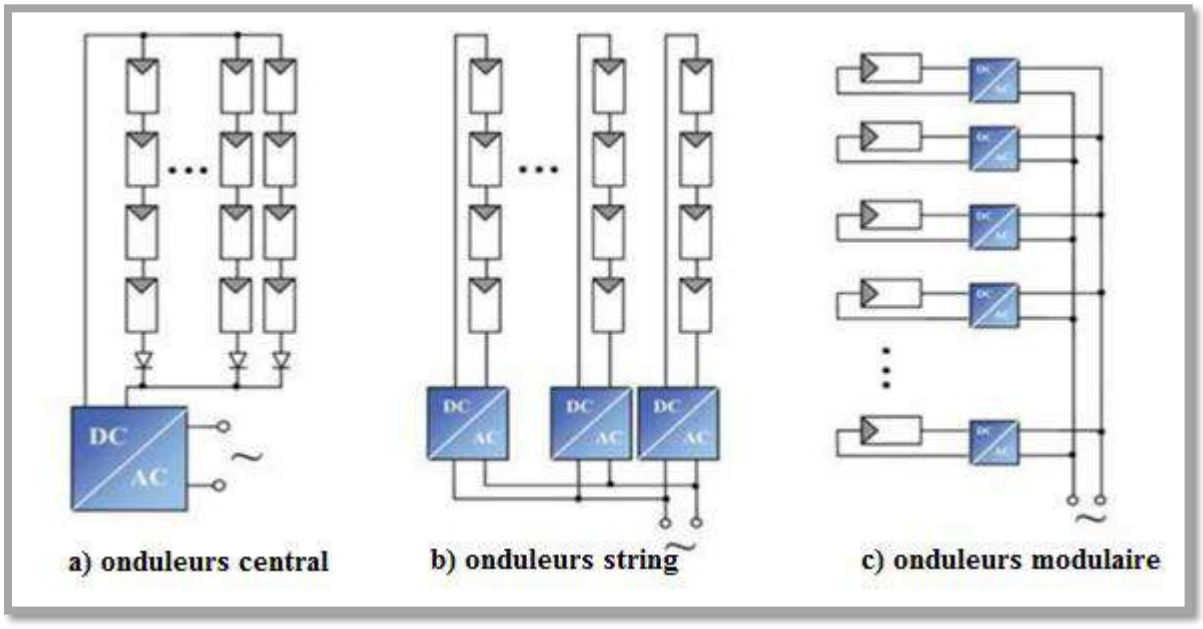


Figure II.21 : Différentes topologies des installations PV connectés aux réseaux électriques.

A. Installation mono-onduleur (onduleur central)

Cette configuration est utilisée dans les petites installations avec des modules du même type ayant la même exposition. La présence d'un onduleur unique présente des avantages économiques, en réduisant l'investissement initial et les coûts d'entretien.

Cependant, la défaillance de l'onduleur peut entraîner l'arrêt de la production de l'ensemble de l'installation.

De plus, cette solution n'est pas très adaptée à l'agrandissement de l'installation PV, car elle augmente les problèmes de protection contre les surintensités et ceux liés à un ombrage différent, autrement dit lorsque l'exposition des panneaux n'est pas la même dans l'ensemble de l'installation. [9]

B. Installation avec un onduleur pour chaque string (onduleur string)

Dans une installation de taille moyenne, chaque string peut être directement raccordé à propre onduleur et donc fonctionner selon son propre Maximum PowerPoint. Dans cette configuration, la diode, qui empêche la source de circuler dans le sens inverse,est généralement incluse dans l'onduleur. Ce dernier réalise un diagnostic de la production et assure également la protection contre les surintensités et les surtensions d'origine atmosphérique du côté DC.

De plus, la présence d'un onduleur sur chaque string limite les problèmes de couplage entre les modules et les onduleurs de même que la réduction des performances causée par l'ombrage ou une exposition différente. Par ailleurs, avec plusieurs strings, des modules présentant différentes caractéristiques peuvent être utilisés, augmentant par conséquent l'efficacité et la fiabilité de l'ensemble de l'installation.

C. Installation multi-onduleurs (Onduleur modulaire)

Suivant ce concept, chaque module solaire dispose d'un onduleur individuel. Pour les installations plus importantes, tous les onduleurs sont connectés en parallèle côté courant alternatif. Les onduleurs modulaires sont montés à proximité immédiate du module. Dans les installations de grande taille, le champ PV est généralement divisé en un plus grand nombre de parties (sous-champs), chacune étant alimentée par un onduleur auquel différents strings sont raccordés en parallèle. Par rapport à la configuration précédente, le nombre d'onduleurs est dans ce cas inférieur, entraînant une réduction conséquente de l'investissement et des coûts d'entretien, cette configuration présente également l'avantage de réduire les problèmes liés à l'ombrage et à la différence d'exposition des strings mais également ceux liés à l'utilisation de modules différents, à condition que les strings du sous champ ayant des modules et une exposition identiques soient raccordés au même onduleur.

De plus, la défaillance d'un onduleur n'implique pas la perte de production de l'ensemble de l'installation (comme dans le cas de l'onduleur unique) mais du sous-champ correspondant uniquement. Il est recommandé de pouvoir déconnecter chaque string séparément, de manière à ce que les vérifications de fonctionnement et d'entretien requises puissent être réalisées sans mettre hors service l'ensemble du générateur PV. Dans cette configuration, le diagnostic de l'installation est réalisé par un système de supervision qui vérifie la production des différents strings.

III.17 Conclusion

Le monde de la conversion photovoltaïque connaît depuis quelques années une évolution profonde associé à l'intérêt croissant pour l'énergie photovoltaïque.

Dans ce chapitre, Nous avons défini l'énergie renouvelable, l'énergie solaire .et on a exposé de manière bref les différentes technologies de cellules photovoltaïques et loure Schéma équivalent. Modélisation , et Les différents types de cellules solaires , ainsi le Principe de fonctionnement d'une cellule ,également les différentes applications photovoltaïques, que soit pour des applications autonome ou raccordée au réseau public.et nous avons identifié les Avantage et inconvenants des PV.

Nous avons connu dans ce chapitre Sur l'énergie photovoltaïque étudie et comment les connecter et les exploiter le PV.



Chapitre III

Simulation et interprétation des résultats

III.1 Introduction

Dans ce chapitre on a utilisé le PVgis qui nous donne Les coordonnées géographiques de la zone de Médéa, il nous permet l'accès a latitude, longitude, altitude et l'irradiation globale pour les intégrer dans le PVsyst 6.43, mais comment assure-t-il cette simulation, pour répondre à cette question nous allons nous intéresser dans ce Chapitre aux logiciels qu'on va utiliser pour la simulation de notre étude.

D'après la simulation, nous présentons les résultats de simulation d'un system photovoltaïque par PVsyst 643 et les résultats obtenus par notre travaille, a partir de rapport de simulation, autonome et Connecté au réseau.

Maintenant dans ce chapitre nous pouvons discute de tous les résultats obtenus.

III.2 Présentation de la wilaya de Médéa

La wilaya de Médéa est une wilaya montagneuse qui fait partie intégrante de la région du Tell est située dans l'Atlas tellien et se caractérise ainsi par une altitude élevée et un relief mouvementé enserrant quelques plaines de faible extension. Au sud, elle s'étend aux confins des hautes plaines steppiques, La wilaya se caractérise au climat rude et peu peuplée, ceinturant la wilaya à l'Ouest et au Nord et il est caractérisé par une pluviométrie irrégulière, la Wilaya de Médéa compte 64 commune et 46 communes.

III.3 Présentation de l'école

L'école de Abde Alhafid SKANDER du territoire (3) dans la wilaya de Médéa, zone de theniet Elhedjer, La zone de l'école est estimée à 1080 mètres carrés, Le périmètre de l'école est 231 mètre, la surface de la tirasse c'est 804 mètre care .l'école il constitue à trois étages et 16 classes.et de consommer de l'énergie total de cette école c'est 26910 Wh par jour, la puissance 3.14 KW.



Figure.III.1 : carte géographique d'école.

Tableau III.1 : Les pièces et L'équipement électrique dans l'école.

pièce	Nombre de pièce	Equipment électrique	Equipment électrique
classe	16	lampe néon	96
		TV	1
Couloire	4	lampe néon	20
Bureau du directeur	1	lampe néon	1
		modem	1
		Pc	1
		Imprimante	1
Cuisine	1	réfrigérateur	2
		lampe néon	13
garage	1	chaudière	1
		mouture	2
		lampe néon	1
WC	3	lampe néon	3
Escalier	6	Lampe néon	6

III.4 Logiciel PVgis

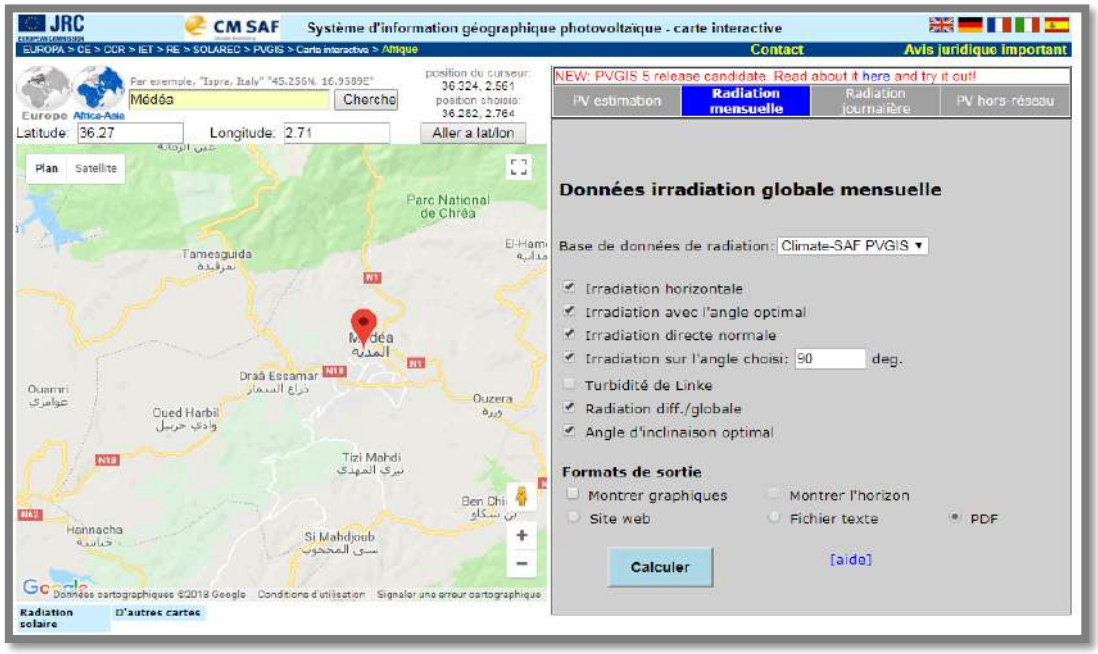


Figure III.2 : Fenêtre de PVGIS.

C'est un outil Internet pour l'évaluation des systèmes d'énergie solaire photovoltaïque et Le Système d'Information géographique photovoltaïque (PVGIS) fournit un accès à: [26]

- Les données sur le rayonnement solaire et la température.
- Les Outils d'évaluation de la performance PV.

Lors de l'évaluation du rayonnement solaire d'une certaine zone, afin de prendre en compte les caractéristiques du paysage, il est idéal pour construire un modèle de rayonnement solaire intégré avec Système d'information géographique (SIG). Ce type de modèle peut fournir rapidement, à faible coût et le résultat précis du rayonnement solaire qui couvre une grande surface. Il a également la capacité d'analyser les effets de la pente, de l'orientation et de l'ombrage. Donc, l'intégration de l'énergie solaire modèle de rayonnement avec SIG et logiciel de traitement d'image est très utile pour l'analyse et améliorations de l'application.

III.4.1 Utilisation de PVGIS

Une fois sur PVGIS, la première chose à faire est de naviguer sur la carte pour trouver le site où seront implantés les panneaux solaires, nous choisissons le site de la willaya de Médéa.

III.4.1.1 Optimiser l'inclinaison

Inclinaison optimale, nous cochons cette case si nous souhaitons que PVgis calcule automatiquement l'inclinaison optimale en fonction du lieu d'implantation (latitude) et de l'orientation de nos panneaux solaires.

III.4.1.2 Base de données de rayonnement:

On Sélectionne la base de données d'ensoleillement que nous souhaitons, laissons "classic PVGIS" par défaut.

Tableau III.2 : Irradiation globale à l'emplacement de wilaya de Médéa.

Mois	Hh	Hopt	H(36)	DNI	Iopt	D/G
Jan	2430	3830	3940	3530	60	0.40
Fev	3120	4340	4430	3900	52	0.39
Mar	4620	5550	5580	4700	39	0.41
Avr	5450	5760	5700	5260	23	0.36
Mai	6560	6270	6120	6310	11	0.33
Juin	7830	7090	6870	8480	3	0.23
Jui	7830	7260	7060	8490	6	0.23
Aout	7080	7230	7120	7920	19	0.24
Sep	5350	6210	6210	5860	34	0.32
Oct	4220	5690	5780	5340	49	0.34
Nov	2720	4140	4250	3780	58	0.40
Dec	2170	3550	3670	3300	62	0.42
Année	4960	5580	5570	5580	32	0.31

Hh: Irradiation sur un plan horizontal (Wh/m2/jour).

Hopt: Irradiation sur un plan avec l'inclinaison optimale (Wh/m2/jour).

H(36): Irradiation sur un plan incliné:36deg. (Wh/m2/jour).

Iopt: Inclinaison optimale (deg).

D/G: Proportion entre l'irradiation diffuse et la globale (-).

DIN : Irradiation directe.

Ce logiciel a été développé par le centre de recherche de l'institut pour l'environnement et le développement durable de la commission européenne. Site du JRC.

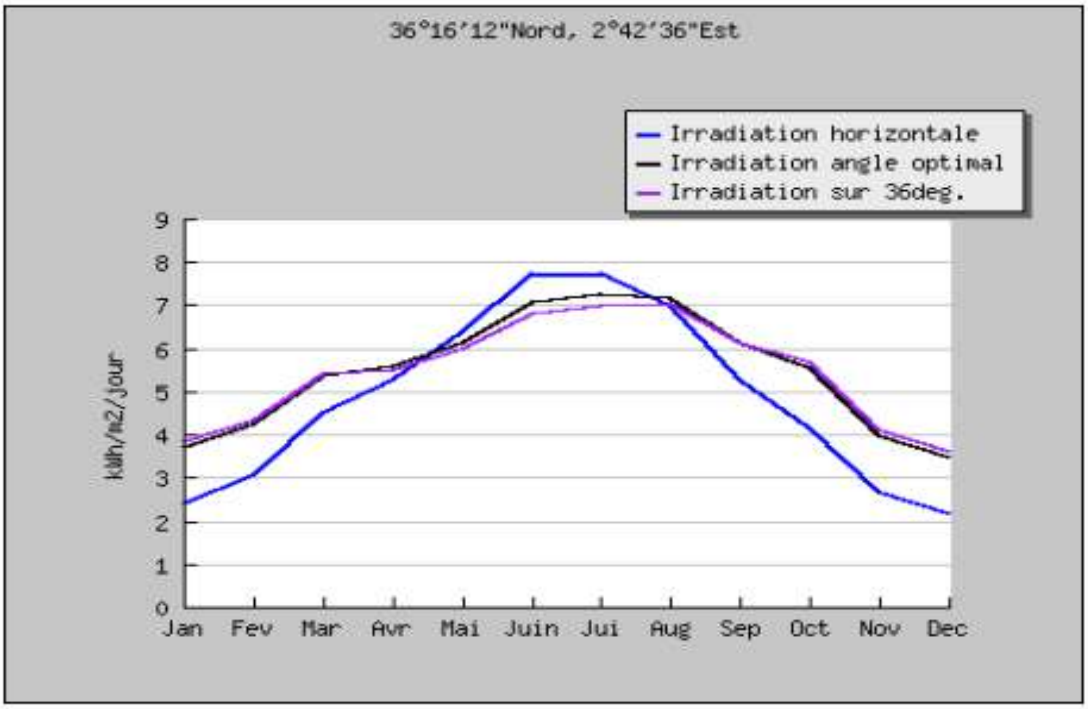


Figure III.3: le graphique des irradiations.

Après avoir obtenu les résultats complets du rayonnement solaire et des coordonnées géographiques de PVGIS, nous pouvons inclure les résultats dans PVsyst.

III.4.2 Données géographiques de la willaya de Médéa

Le tableau 1 présente les données géographiques du site de Médéa.

Tableau III.3: données géographiques du site de la wilaya de Médéa.

Caractéristiques	Latitude [°]	Altitude [m]	Longitude [°]
Médéa	36.16 Nord	981	2.45 Est

III.5 Logiciel PV système

Les logiciels photovoltaïques professionnels sont indispensables pour les bureaux d'études, les architectes, les installateurs, qui souhaitent estimer précisément la production photovoltaïque d'un générateur, et dimensionner l'ensemble des composants du système : panneaux, onduleurs etcâblage, PV$_{SYST}$ est l'un des plus anciens et des plus performants

logiciels dédié au photovoltaïque. Il propose des fonctionnalités très poussées telle que son application 3D qui permet de simuler la course du soleil et les ombres portées afin d'optimiser l'implantation des panneaux. [26]

III.5.1 Premier contact avec PVsyst

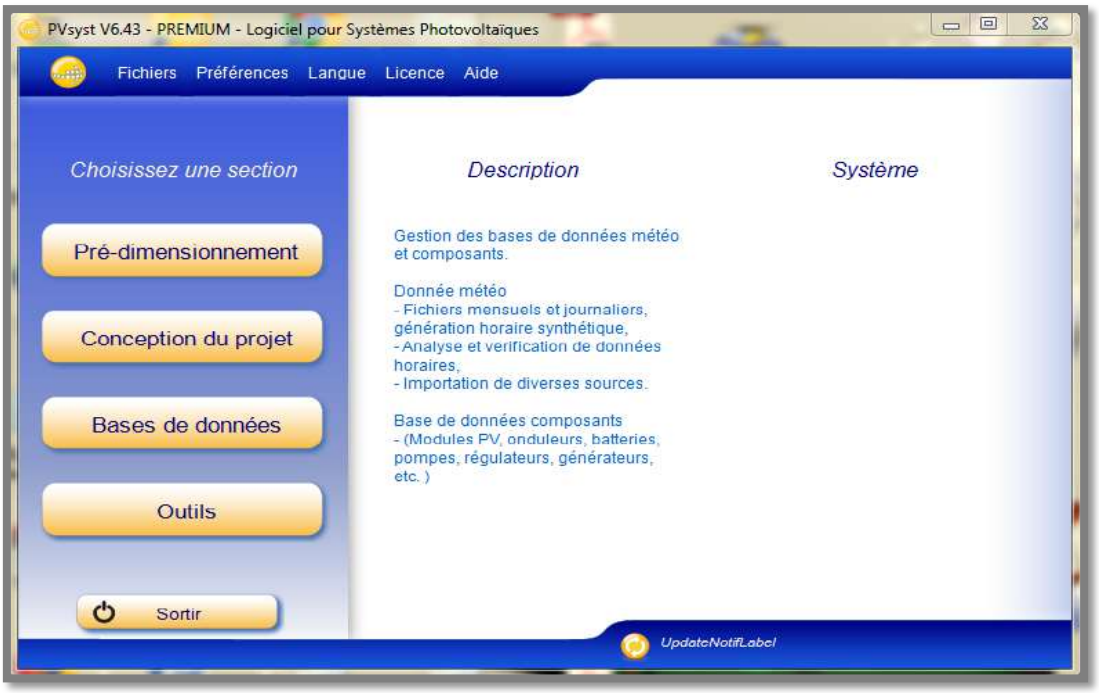


Figure III.4: Fenêtre de PV_{Syst}6.43.

Cela donne accès aux quatre parties principales du programme, La «conception préliminaire» fournit une évaluation rapide des potentiels et des contraintes possibles d'un projet dans une situation donnée. Ceci est très utile pour le pré-dimensionnement des systèmes autonomes et de pompage. Pour les systèmes connectés au réseau, il s'agit simplement d'un instrument permettant aux architectes d'obtenir une évaluation rapide du potentiel PV d'un bâtiment."Conception de projet" est la partie principale du logiciel et est utilisée pour l'étude complète d'un projet. Elle implique le choix des données météorologiques, la conception du système, les études d'ombrage, la détermination des pertes et l'évaluation économique. La simulation est effectuée sur une année complète par étapes et fournit un rapport complet et de nombreux résultats supplémentaires.Les «bases de données» Les bases de données contiennent les définitions de tous les composants impliqués dans les installations PV comme les modules, les onduleurs, et les batteries. [28]

III.5.2 Données d'entrée

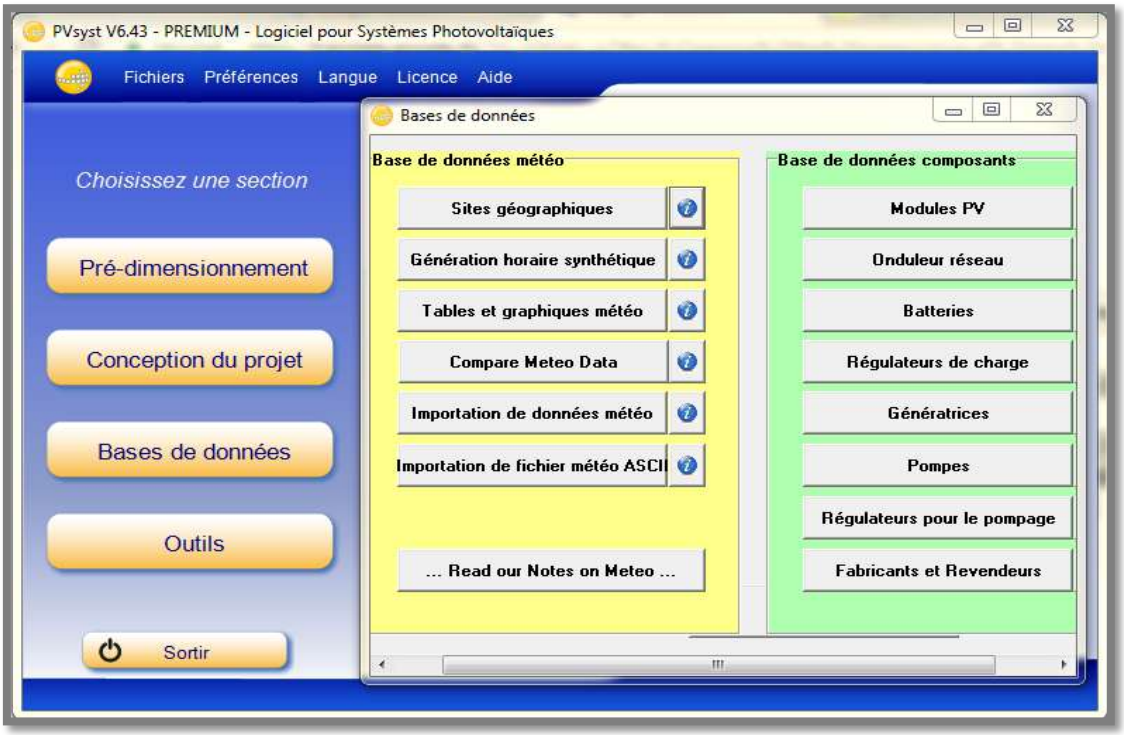


Figure III.5 : Fenêtre de bases de données.

La première entrée dans PVsyst est la localisation géographique du projet à simuler, cela déterminera le trajet solaire au cours de l'année et permettra d'interpoler les données météorologiques pour les endroits où aucune mesure directe n'a été prise, les données météorologiques utilisées en entrée de la simulation sont les suivantes. [28]

- Le Rayonnement global horizontal (requis).
- La Température externe moyenne (obligatoire).
- L'Irradiation diffuse horizontale (optionnel).
- La Vitesse du vent (facultatif).

Toutes les manipulations et les visualisations des données météo sont accessibles via l'option "Bases de données" dans la fenêtre principale.[28]

Dans cette boîte, nous pouvons énumérer tout ce que vous obtenez à PVGIS, on prend ces valeurs du tableau (III.2), les deux premiers le rayonnement global horizontal et la température externe moyenne, doivent être fournis comme entrée externe à la simulation, il n'y a pas de bonne façon de les estimer seulement à partir de l'emplacement géographique, les deux autres grandeurs peuvent être fournies sous forme de données mesurées externes ou en l'absence de bonnes mesures, elles sont estimées par PVsyst à l'aide de modèles établis.

III.6 Conception du projet isolé avec batteries

Lorsque nous choisissons le projet "isolé avec batteries", nousobtiendrons le tableau de bord pour la gestion d'un projet, dans le tableau de bord du projet, nous définissons le nom du projet, puis le Site et Météo.

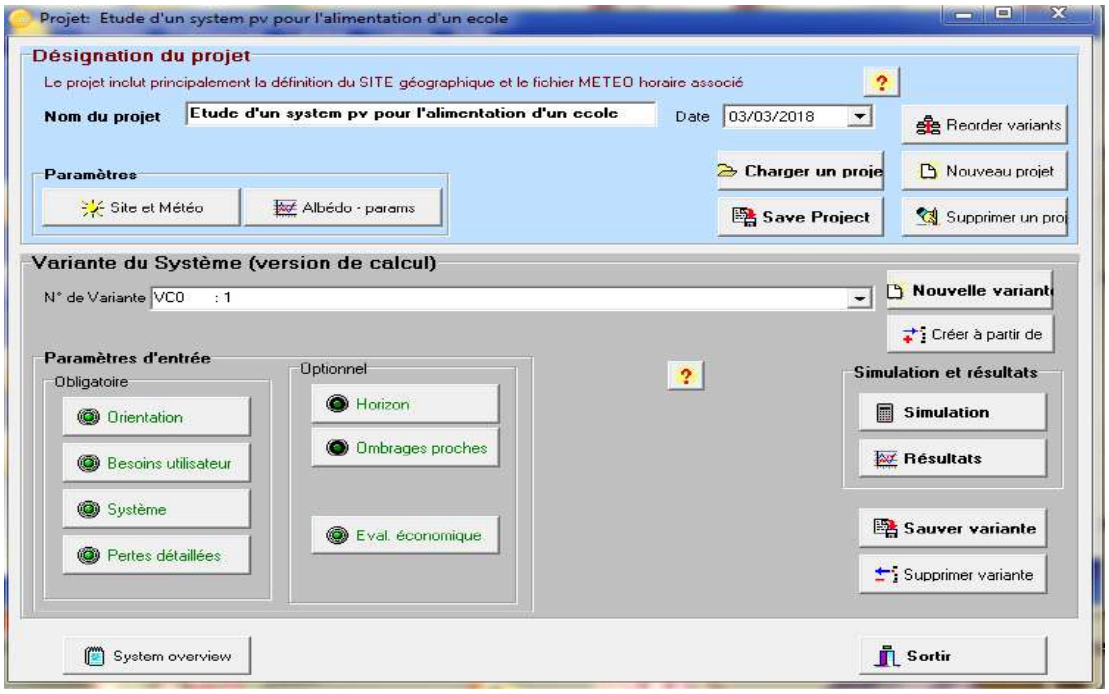


Figure III.6: Fenêtre conception d'un projet isole avec batterie.

III.6.1 Orientation

Dans la conception de systèmes photovoltaïques, l'orientation doit être prise en compte car elle affectera les performances des systèmes photovoltaïques. Pour recevoir le maximum de rayonnement solaire, le panneau photovoltaïque doit être placé sous un certain angle.

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

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

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

Une inclinaison importante par rapport à l'horizontale favorise la captation de l'énergie solaire pendant l'hiver et par-là permet de diminuer les variations énergétiques entre l'hiver et l'été.

Par contre, cette inclinaison oblige à dimensionner le générateur sur les apports d'hiver et elle conduit généralement à une surproduction d'énergie électrique en été.

La valeur de l'inclinaison correspond à l'angle que font les modules avec l'horizontale.

Et l'énergie solaire reçu par une surface de modules photovoltaïques sera plus importante si cette surface et perpendiculaire aux rayons directe du soleil

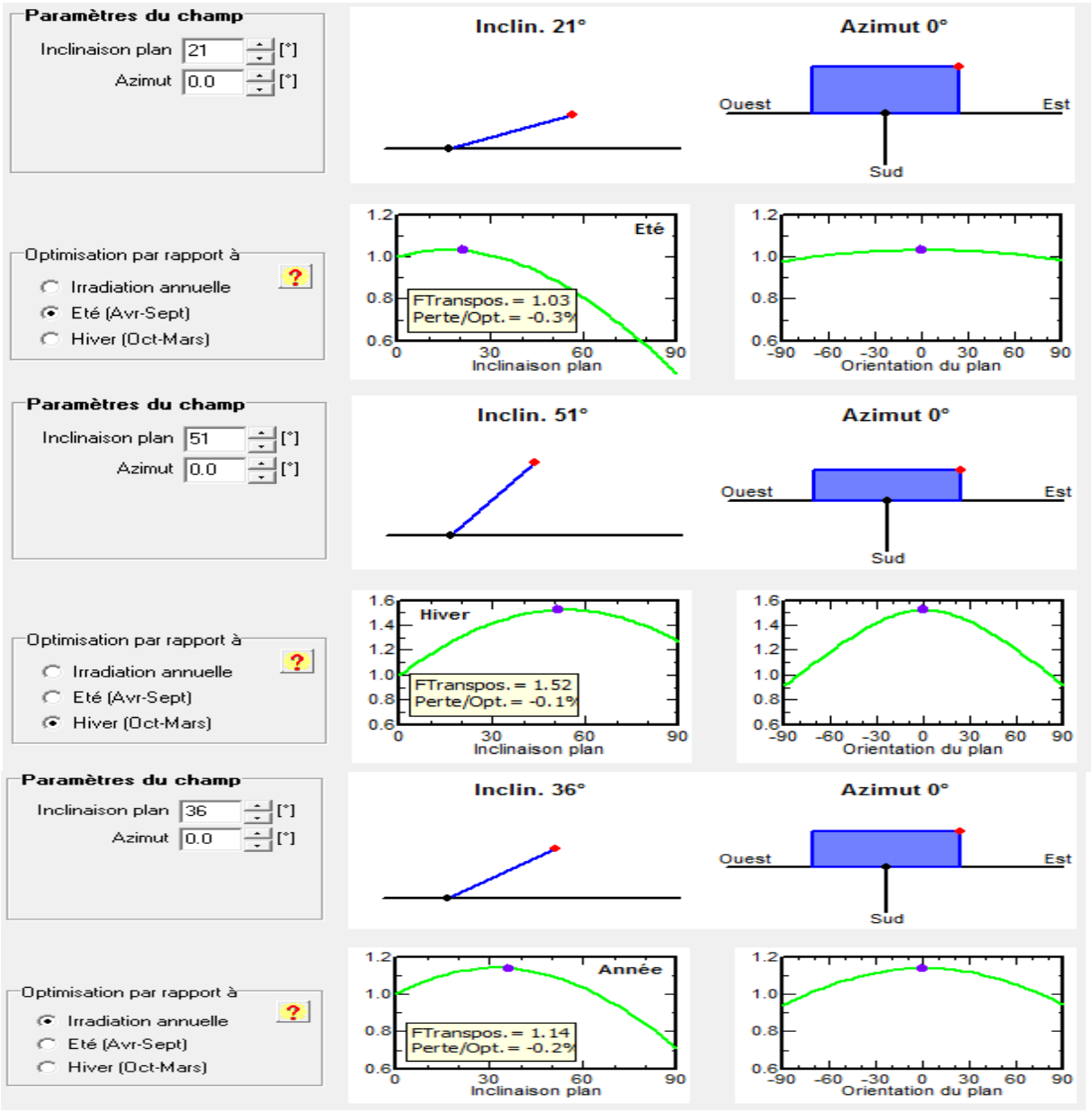


Figure III.7 : inclinaison du générateur PV par PVsyst.

L'inclinaison optimale peut se résumer dans le tableau suivant :

Tableau III.4: Inclinaison optimale en fonction de la latitude

Les saisons de l'année	Inclinaison = Latitude
Été (avril –septembre)	Inclinaison = Latitude - 15
Hiver (octobre –mars)	Inclinaison = Latitude +15

Après la simulation nous avons trouvé le meilleur angle d'inclinaison de l'année est de 36 degrés et azimut 0 degrés.

III.6.2 Besoins utilisateur

Pour la configuration du système, nous devons d'abord définir les besoins de l'utilisateur. Dans un système autonome, la consommation d'énergie est basée sur l'utilisation quotidienne, mensuelle ou annuelle, la consommation d'énergie quotidienne pour chaque charge est déterminée par sa puissance et son temps de fonctionnement, afin d'obtenir une demande de charge précise, la puissance et le temps de fonctionnement doivent être obtenu pour chaque charge.

Tableau III. 5 : L'équipement électrique dans cette école.

Equipement	**nombre**	**Puissance (w)**	**Utilisation (h/jour**
Lamps(classe+bureau)	97	18	10
Lamps(couloire+garage+wc+escalier)	30	18	4
Lamps (cuisine)	13	18	8
Congélateur	2	120	24
Tv + Imprimente	2	75	4
modeme	1	6	10
pc	1	48	10
Chaudière	1	178	24
Energie journalière totale	26910 Wh/jour		
Puissance journalière totale	3.142 Kw/ jour		

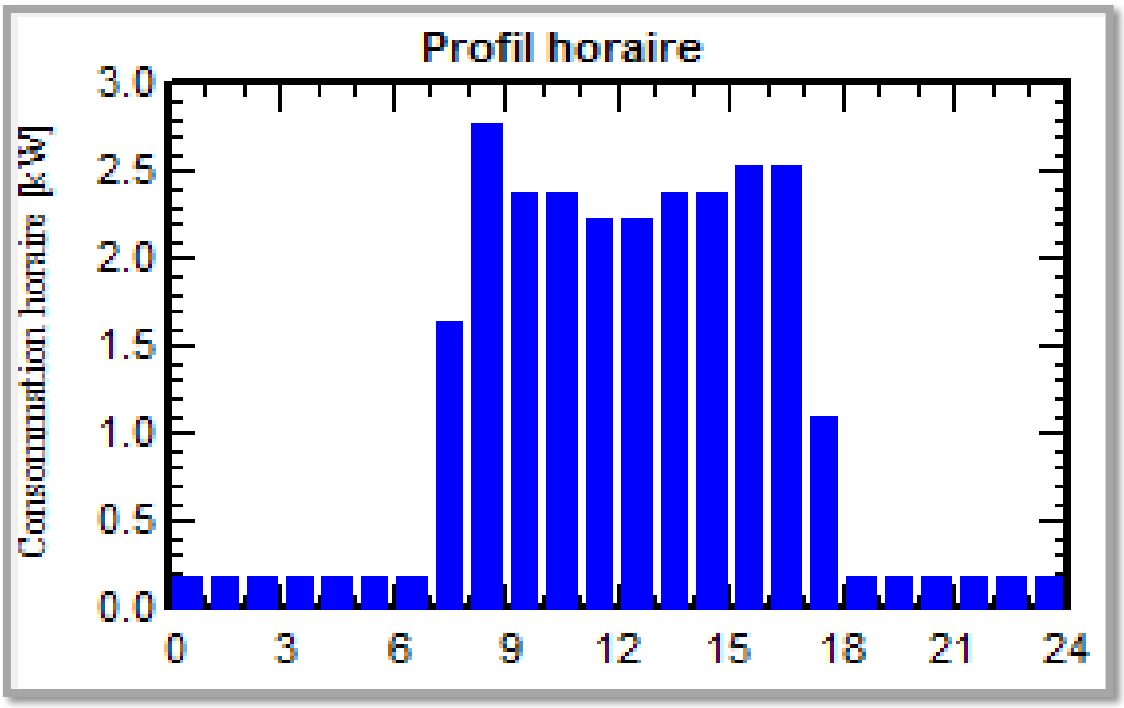


Figure III.8: besoin d'énergie de l'utilisateur journalière.

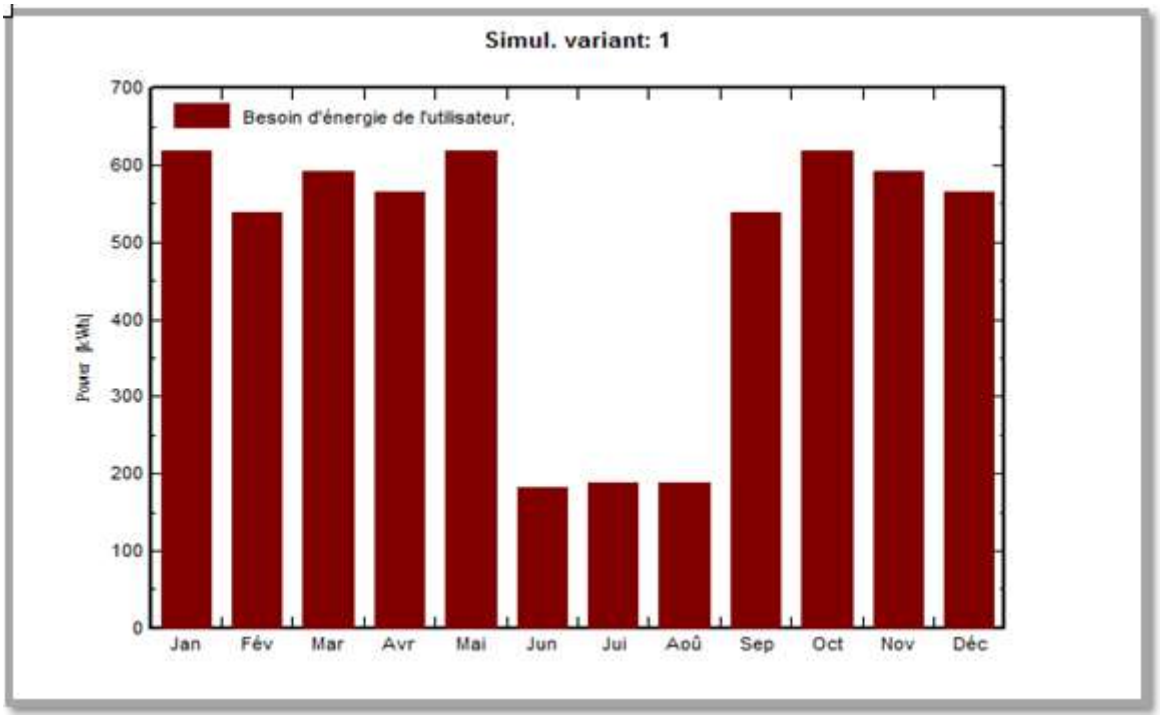


Figure III.9 : besoin d'énergie de l'utilisateur annelle.

D'après la figure (III.8) et (III.9) : La consommation journalière d'électricité augmente dans la journée, et cela dû à l'augmentation de Besoin électrique et le nombre de membres de l'école, dans l'année, sauf été en raison de les vacances.

III.6.3 Système

Pour la configuration du système, nous devons d'abord définir les besoins de l'utilisateur, la conception de système est basée sur une procédure rapide et simple:

- ✓ Nous Spécifions la puissance désirée ou la surface disponible.
- ✓ Choisissons les modules PV dans la base de données interne.
- ✓ Choisissons l'onduleur dans la base de données interne.
- ✓ Choisissons les batteries dans la base de données interne.

III.6.3.1 Le Générateur PV

Le module photovoltaïque (A-Sun by atonEnergy), de cellule solaire de mono cristallines, et fournit une puissance maximum nominale de 300 w.

Les caractéristiques physiques et électriques de ce panneau photovoltaïque sont données par le tableau III.6.

Tableau III.6 : Dimension et technologie de module A-Sun by atonEnergy.

Nombre de cellules en série (N_S)	71
Nombre de cellules en parallèle (N_p)	1
Longueur d'un module	1958 mm
Largeur d'un module	992 mm
Epaisseur d'un module	50 mm
poids	23.20 Kg
Surface de module	1.942 m

III.6.3.2 Influence de l'éclairement

L'énergie électrique produite par une cellule dépend de l'éclairement qu'elle reçoit sur sa surface.

Le courant est directement proportionnel au rayonnement, contrairement à la tension qui ne varie que très peu en fonction de l'éclairement.

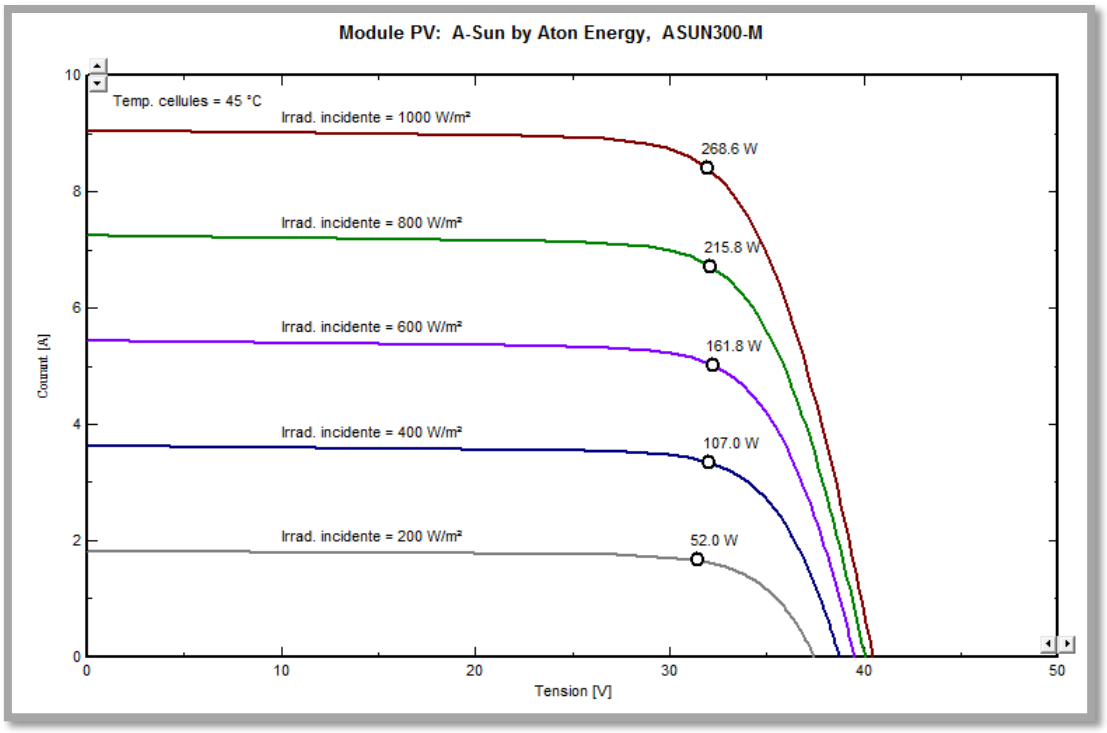


Figure III.10 : Caractéristique courant-tension d'une cellule en fonction de l'éclairement.

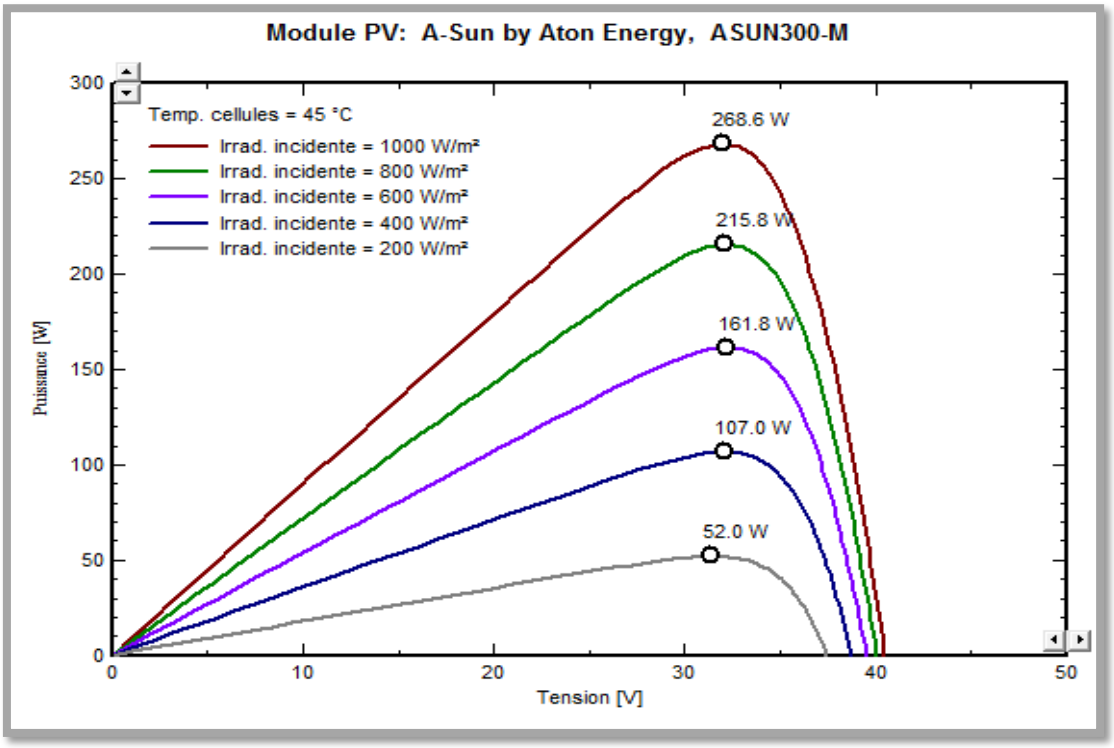


Figure III.11 : Caractéristique puissance-tension d'une cellule en fonction de l'éclairement.

III.6.3.3 Influence de la température

La température est un paramètre essentiel puisque les cellules sont exposées aux rayonnements solaires, susceptibles de les échauffer.

De plus, une partie du rayonnement absorbé n'est pas convertie en énergie électrique il se dissipe sous forme de chaleur, c'est pourquoi la température, de la cellule (Tc) est toujours plus élevée que la température ambiante (Ta).

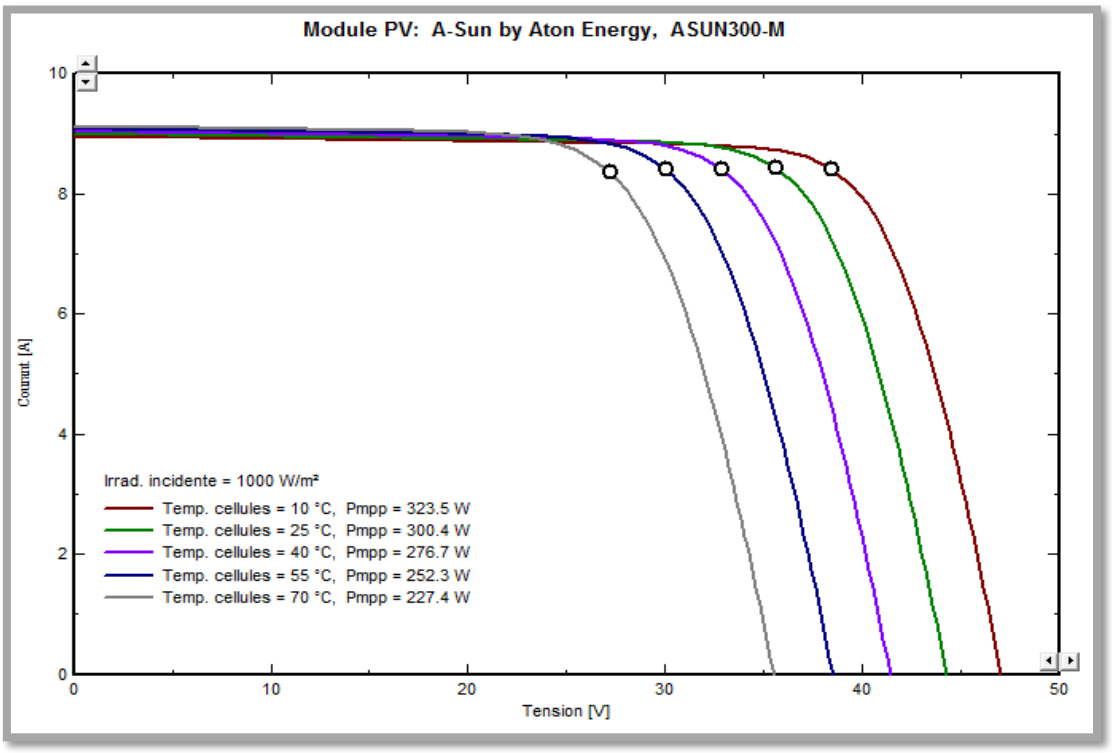


Figure III.12 : Caractéristique courant-tension d'une cellule en fonction de la température.

La figure (III.12), montre que la tension d'une cellule baisse fortement avec la température. Plus la température augmente et moins la cellule est performante. En revanche, le courant augmente légèrement en intensité : cette augmentation reste néanmoins négligeable au point de puissance maximale.

Pour la figure (III.12) Nous remarquons que le courant dépend de la température puisque le courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, on constate que la température influe négativement sur la tension de circuit ouvert. Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Et par contre la puissance maximale du générateur subit une diminution lorsque la température augmente figure (III.13).

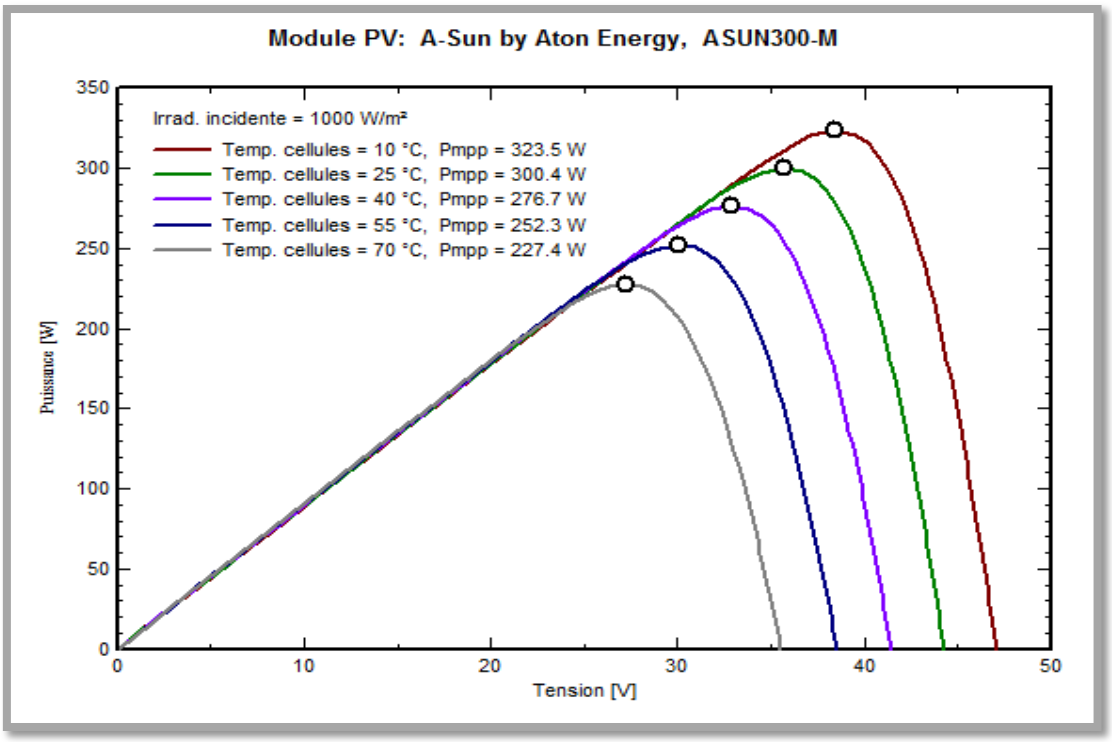


Figure III.13 : Caractéristique puissance-tension d'une cellule en fonction de la température.

III.6.3.4 Branchement de panneau solaire photovoltaïque

Le branchement de panneau solaire en série permet d'additionner les tensions. Pour brancher les panneaux solaire en série, on connecte la borne (+) du panneau solaire à la borne(-).

Le branchement de panneau solaire en parallèle permet d'additionner les intensités. Pour brancher les panneaux solaire en parallèle, connecte les bornes (+) ensembles et les bornes (-) ensembles.

Pour une puissance suffisante, on opte pour un branchement de panneau solaire mixte, en série et en parallèle.

En conclusion, le montage de panneaux solaire photovoltaïque c'est 22 panneaux ,11 en série et 2 en parallèle, il donne Vmpp entre320V a 403V à partir de température de 60 c˚,20 c˚, ce système couvrira une zone de 43 m2,

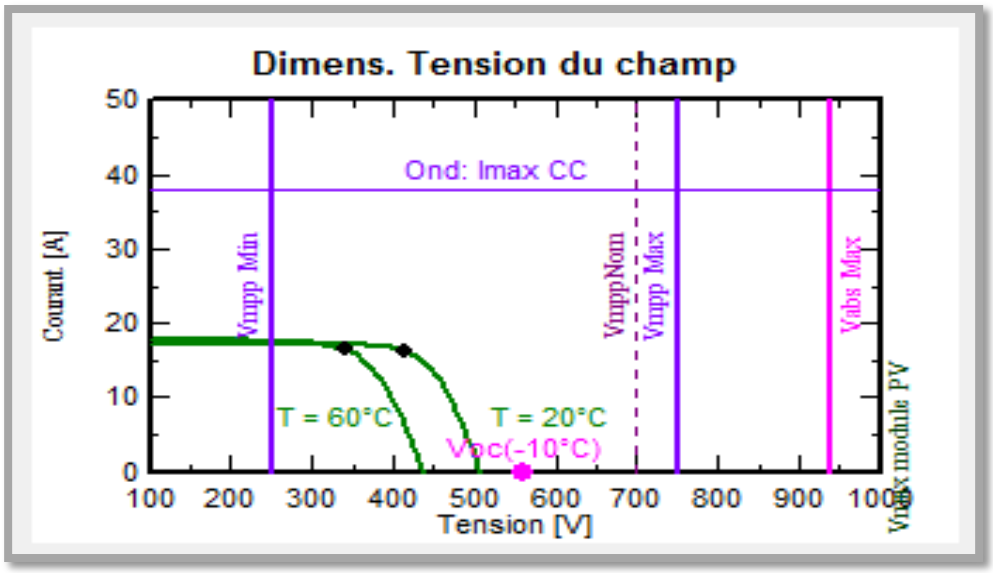


Figure III.14 : Dimensionnement de tension du champ.

Comme illustrer de Figure (III.14) il ya de point de fonctionnement respectifs a PV C'est «VmppNom » et en trouvé cette pont entre « VmppMin » et « VmppMax » Ceci est requis.

III.6.3.5 Les batteries

Pour obtenir la capacité désirée etTension,les batteries doivent être connectées en série et en parallèle pour former unebanque de batterie,nous avons choisi le type de batterie « Rolls » 12V et 296Ah, pour brancher les batteries, on a connecté la borne (+) à la borne (-), et à travers les résultats obtenus du logiciel PVsyst 6.43 c'est 4 batterie en série et 11 en parallèle, sont connectés en série pour fournir une 48V et en parallèle pour fournir une capacité de 2664Ah.

Tableau III.7 : Les paramètres de Batterie.

Consommation d'énergie quotidienne	6072Wh
Tension du système DC	48V
Autonomie	4 jours
Fabricant de batterie	Rolls
Tension de la batterie	12V
Capacité de la batterie	296 Ah
Nombre de batteries en série	4
Nombre de chaînes en parallèle	9
Nombre total de batteries	36
Capacité de la batterie pratique	2664 Ah

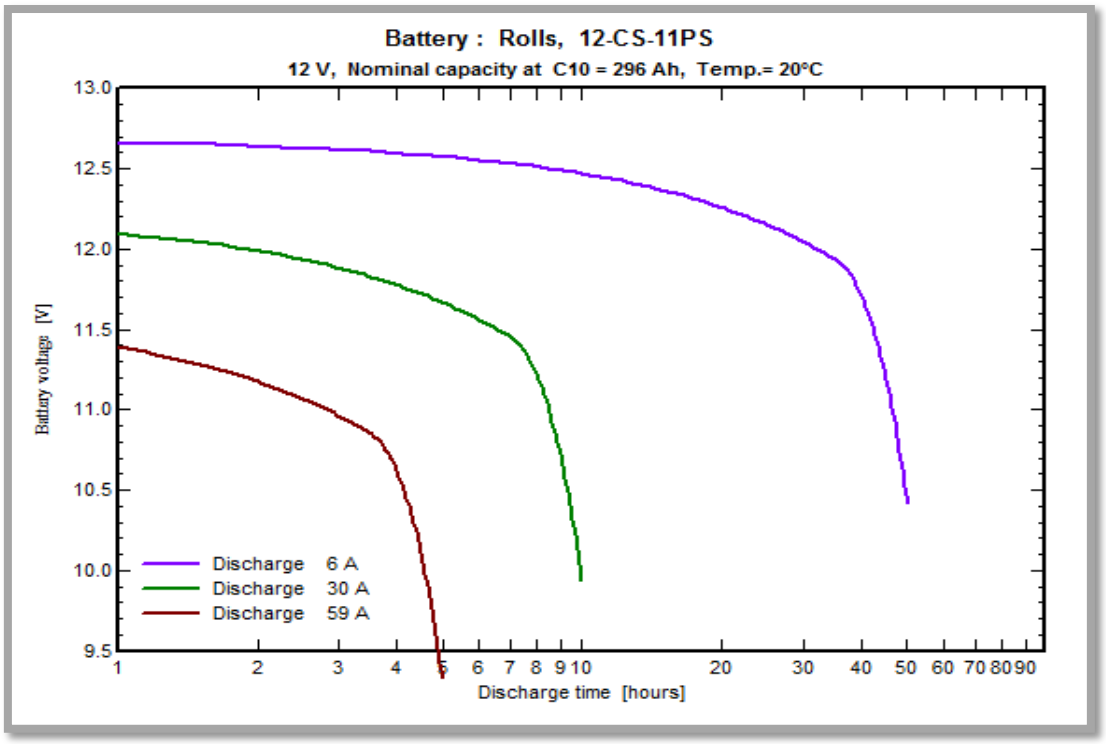


Figure III.15 : taux de décharge de la batterie.

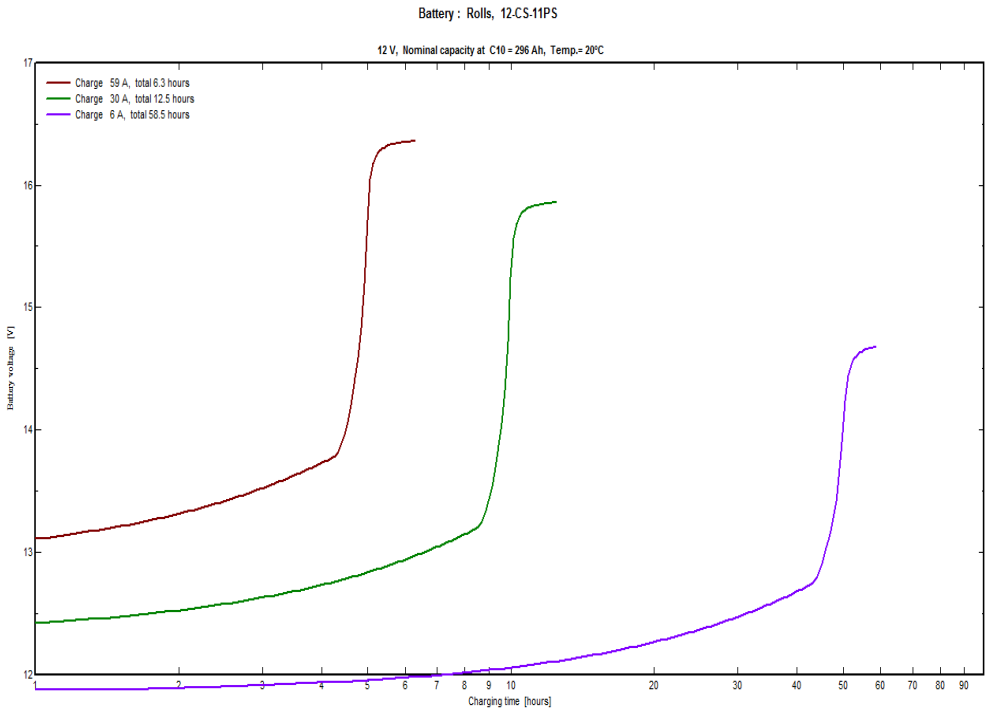


Figure III.16 : taux de charge de la batterie.

III.6.4 Evaluation économique.

Les systèmes photovoltaïques sont souvent considérés comme une solution d'énergie propre et respectueuse de l'environnement, cependant, d'un autre côté, les systèmes photovoltaïques sont également utiles dans les questions financières, avec une conception et une exploitation efficaces, un système photovoltaïque peut rembourser son investissement et réaliser d'autres bénéfices, certains systèmes PV ont un coût inférieur à celui d'autres types de générations.

En comparant les résultats de simulation, le système connecté au réseau est moins coûteux que le système autonome parce que les batteries ne sont pas utilisées, et limiter l'application pratique du système connecté au réseau. Bien que le système autonome coûte plus cher, ce sera un choix idéal pour les régions éloignées.

Dans cette icône, nous pouvons insérer tous les éléments et leur nombre avec leurs prix pour le montant total du projet.

III.6.4.1 Analyse de coût

Il est préférable de faire une analyse des coûts avant la conception du système, car le concepteur des résultats peut acquérir une connaissance approfondie du choix du type de système, effectuer les configurations et sélectionner les composants appropriés. Ainsi, le but d'obtenir la valeur maximale et les coûts minimaux peuvent atteindre. Parfois, cela est fait après l'installation du système, l'avantage de faire une analyse après le projet est que le coût de l'installation du système et des composants sont déterminés de sorte que les résultats sont plus précis que la pré-analyse. Et l'expérience exacte peut être utilisée pour de futurs travaux tels que le remplacement

Pour un système autonome et connecté aux réseaux, les prix des composants du système et autres frais sont listés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.8 : Coûts du système total.

Matériel		Nombre de matériel	Prix (da)	Prix total
Coûts initiaux	Batterie	36	35485	1277460
	PV	22	30000	660000
	Onduleur	2	3500	7000
	Régulateur	1	2900	2900
	Câblage	-	3000	3000
	Support	22	1000	22000
	Transport et montage	-	1000	1000
	Ingénieur	1	15000	15000
Coûts de maintenance				10000
Coûts de réparation et de remplacement				30000

III.6.4.2. Coûts initiaux

Le coût initial comprend l'étape de la conception, de l'ingénierie, des dispositifs et de l'installation du système PV

Le prix de la batterie unique 35485 da, dans le système autonome de la batterie de banque se compose de 36 batteries de que le prix est de 35485 * 36 = 1277460 da.

Le prix pour une pièce du module A sun by est de 30000 da, 22 modules sont utilisés dans le projet avec deux onduleurs estimés 7000 da

Les coûts de main-d'œuvre pour la conception, l'ingénierie et l'installation doivent être estimés 20000 da. D'autres frais peuvent provenir du transport des appareils. Ensuite, le coût total est considéré comme le coût initial au début de la vie du système.

Pour calculer l'analyse du coût , tous les types de coûts doivent être additionnés, Estimé

1988360 da

Afin de récupérer et de payer les taxes, vous devez vendre de l'électricité excédentaire ou inutilisée ou lorsque l'école est en congé, Coût de l'énergie où le coût de l'énergie utilisée est estimé à 35,7 DZD / kWh

Cout de l'energie

- Energie solaire utilisée 5805, Kwh/an
- Energie en excès, batterie pleine, 4528 kwh/an
- Cout de l'énergie utilisée, 35.7DAD/ kwh

la Production d'énergie estimé est : 15.9 KWh/jour

les Revenus de la vente d'énergie produite par ans : 1532601 DZD

Pour comparer les résultats et évaluer ce projet, il faut calculer le coût de la consommation

Ce processus est divisé en quatre tranches ,par consumation globale

Avec : consumation dans un trimstreéstimi 1729.8 KWh

Tableu III.9 : consumation d'énergie de l'école.

consumation/tranche	prix unitaire	montant HT	TVA	montant TTC
1er tranche 125.00	1.7787	222.3375	9%	811.72 da
2eme tranche.....125.00	4.1789	522.3625		
3eme tranche.....750	4.8120	3609	19%	9053.532
4eme tranche.....729.8	5.4796	3999.012		

total électricité 9865.25

la consumation dans 20 ans : 789220 DZD

III.6.4.3 Coûts de maintenance et replacement

Les coûts d'entretien apparaissent périodiquement pendant la durée de vie du système photovoltaïque, pour chaque année est estimé à 10000 da, La durée de vie de la batterie est de 5 ans et doit être remplacée à 5, 10 et 15 ans. Le contrôleur de charge doit être remplacé à l'année 10.

III.7 Conception du projet couplé au réseau

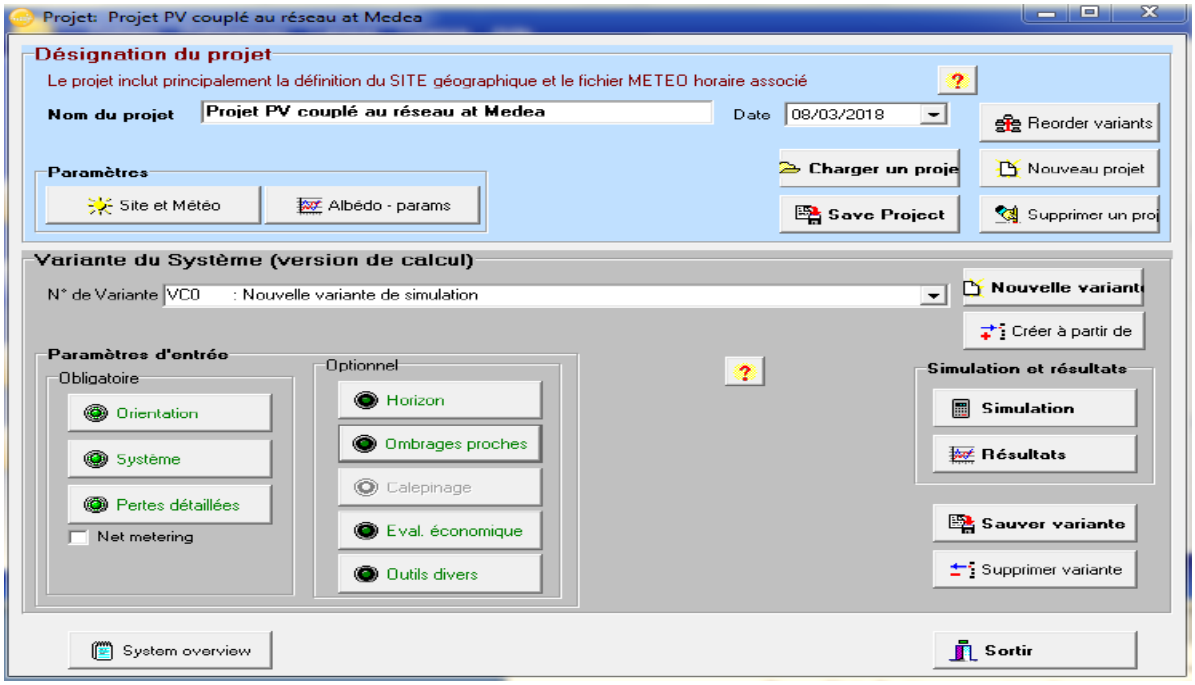


Figure III.17: Fenêtre conception d'un projet couplé au réseau.

Nous simulons dans le système photoélectrique connecté au réseau de la même manière ce que nous avons fait dans un système photovoltaïque isolé du réseau, orientationsystème et économique

Dans une installation raccordée au réseau, l'appareil de conditionnement de la puissance est un onduleur qui représente l'élément clé le plus délicat de l'installation. Situé à l'interface entre le champ PV et le réseau, il doit être adapté aux impératifs techniques et doit assurer la sécurité de deux sous-systèmes électriques très différents. A présent notre travail s'effectuera sous PVsyst 6.43

III.7.1.Onduleur

Si le système contient des charges CA, un onduleur est nécessaire pour convertir la tension CC fournie par le réseau ou les batteries en tensions CA. Plusieurs facteurs doivent être pris en compte lors de la sélection d'un onduleur. D'abord, la puissance de sortie de l'onduleur doit correspondre à la puissance maximale en watts de toutes les charges AC.

Habituellement, l'onduleur est choisi pour un peu plus grand que la demande de charges AC pour l'éventuelle extension de la charge. Efficacité de l'onduleur.

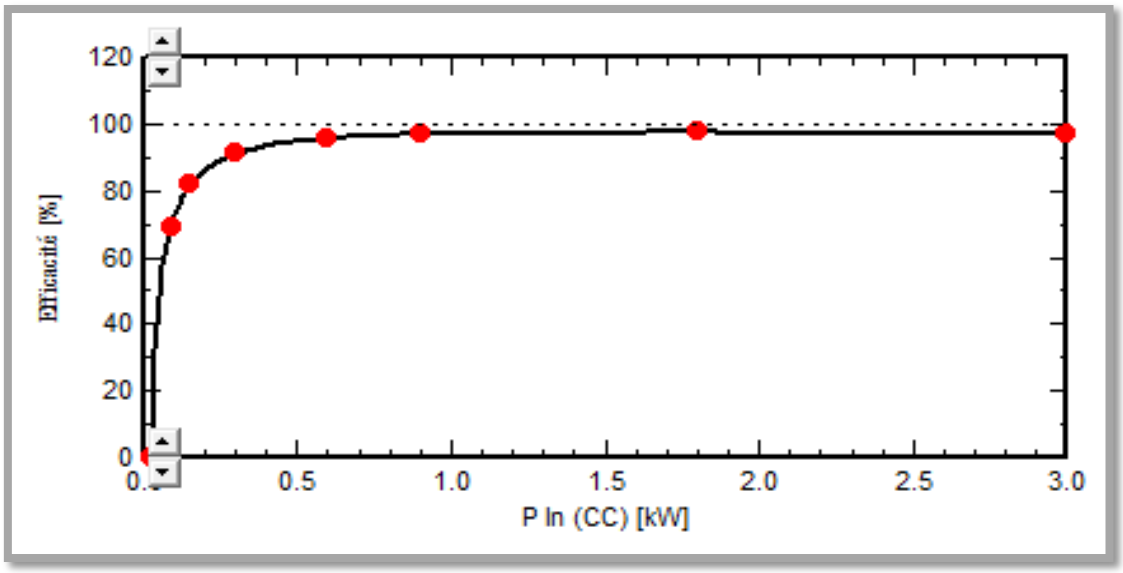


Figure III.18 : Efficacité d'onduleur en fonction de puissance (P_{in}).

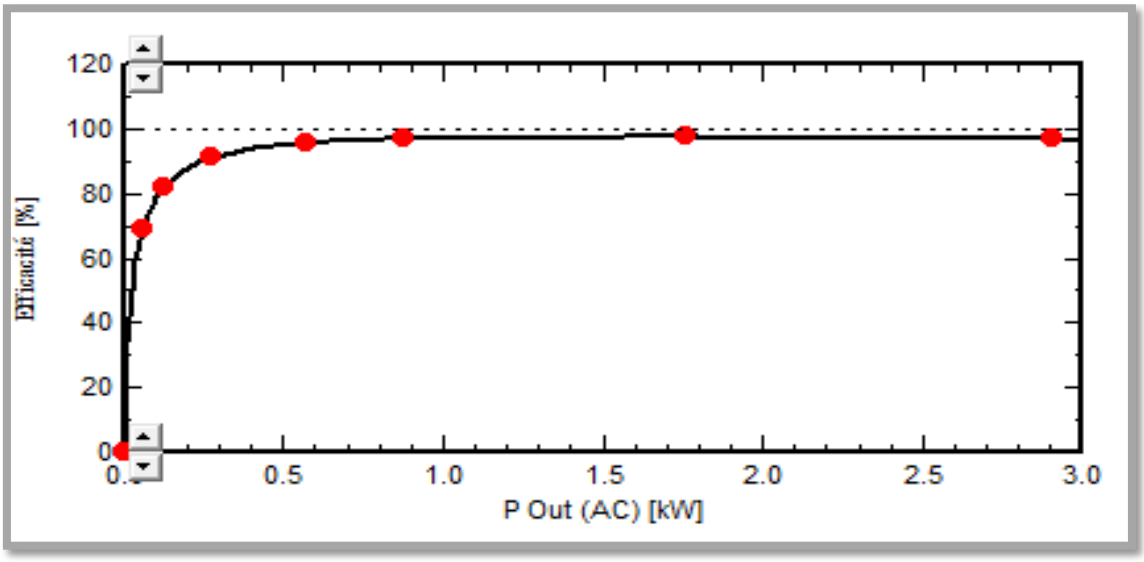


Figure III.19 : Efficacité d'onduleur en fonction de puissance (P_{Out}).

III.8.Exécuter la première simulation

Sur le tableau de bord du projet, tous les boutons sont maintenant verts.

À la fin, nousaccédons directement à la boîte de dialogue "Résultats". [27]

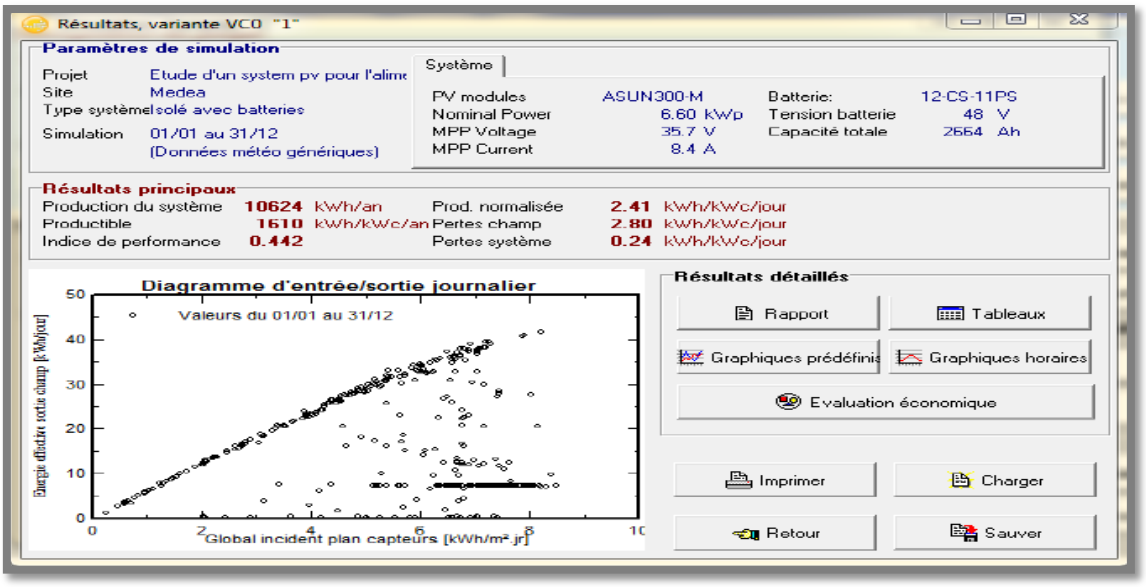


Figure III.20 : boite des résultats de simulation.

Les informations principales des résultats de la simulation sont rassemblées dans le rapport. Les autres boutons donnent accès à des tableaux et des graphiques complémentaires pour une analyse plus approfondie des résultats de la simulation.

La simulation calcule la distribution des énergies tout au long de l'année. Un rapport complet avec tous les paramètres impliqués et les résultats principaux.

III.8.1.Bilans et résultats principaux

Tableau III.10 : Bilans et résultats principaux d'un système isole.

	GlobHor Kwh/m²	GlobEff Kwh/m²	E Avail Mwh	EUnused Mwh	E User Mwh	E Load Mwh	SolFrac
Janvier	73.5	112.1	0.652	0.000	0.619	0.619	1.000
Février	85.7	115.7	0.654	0.058	0.538	0.538	1.000
Mars	139.2	166.9	0.927	0.280	0.592	0.592	1.000
Avril	157.8	160.6	0.902	0.318	0.565	0.565	1.000
Mai	197.8	181.7	0.998	0.349	0.619	0.619	1.000
Juin	231.6	199.7	1.079	0.855	0.182	0.182	1.000
Juillet	239.9	212.4	1.130	0.915	0.188	0.188	1.000
Aout	217.0	213.5	1.109	0.894	0.188	0.188	1.000
Septembre	158.1	180.4	0.964	0.394	0.538	0.538	1.000
Octobre	128.3	171.3	0.950	0.308	0.619	0.619	1.000
Novembre	79.5	114.0	0.653	0.077	0.592	0.592	1.000
Décembre	66.7	104.9	0.606	0.078	0.565	0.565	1.000
Année	1775.1	1933.2	10.624	4.528	5.805	5.806	1.000

Dans le tableau (III.10), l'énergie produite par le générateur PV est suffisante pour répondre à la demande des charges de l'école pendant toute l'année, car la conception est basée sur la condition de fonctionnement critique mois.

Nous trouvons que « E Avail » énergie solaire disponible un peu plus grand que « E Load » Besoin d'énergie de l'utilisateur, c'est à partir de cela nous pouvons dire que l'énergie produite par le PV Sont suffisants pour couvrir le besoin électrique de l'école, et il n'y a pas de grande perte d'énergie

Et la capacité pour le mois de Juin à Août est petite que les autres mois en raison de les vacances.

Tableau III.11 : Bilans et résultats principaux d'un système non isole.

	GlobHor kWh/m²	**T.Amb °C**	**GlobInc kWh/m²**	**GlobEff kWh/m²**	**EArray kWh**	**E_Grid kWh**	**EffArrR %**	**EffSysR %**
Janvier	73.5	9.50	115.1	112.1	702	679	14.28	13.82
Février	85.7	11.20	118.5	115.7	706	683	13.95	13.50
Mars	139.2	12.70	171.5	166.9	998	966	13.64	13.19
Avril	157.8	13.70	165.4	160.6	967	936	13.69	13.25
Mai	197.8	16.80	187.5	181.7	1075	1040	13.43	12.99
Juin	231.6	20.70	206.4	199.7	1150	1114	13.06	12.64
Juillet	239.9	22.00	219.2	212.4	1208	1170	12.91	12.50
Aout	217.0	23.30	219.9	213.5	1193	1155	12.71	12.30
Septembre	158.1	19.50	185.3	180.4	1041	1009	13.16	12.30
Octobre	128.3	16.50	175.7	171.3	1020	989	13.60	13.19
Novembre	79.5	12.30	117.0	114.0	701	679	14.03	13.59
Décembre	66.7	10.70	107.6	104.9	651	630	14.18	13.72
Année	1775.1	15.77	1989.1	1933.2	11412	11049	13.44	13.01

Les tendances de l'efficacité du tableau sont opposées par rapport à la production d'énergie, il est plus élevé en hiver et plus bas en été, la raison en est la température élevée en été qui réduira les performances du module.

III.8.2.Des pertes pour 1 année :

Le diagramme des pertes montre les énergies à différents niveaux du système, avec une évaluation des pertes à chaque stade. Outil puissant pour une rapide analyse du comportement du système, et les possibilités éventuelles d'amélioration de la conception.

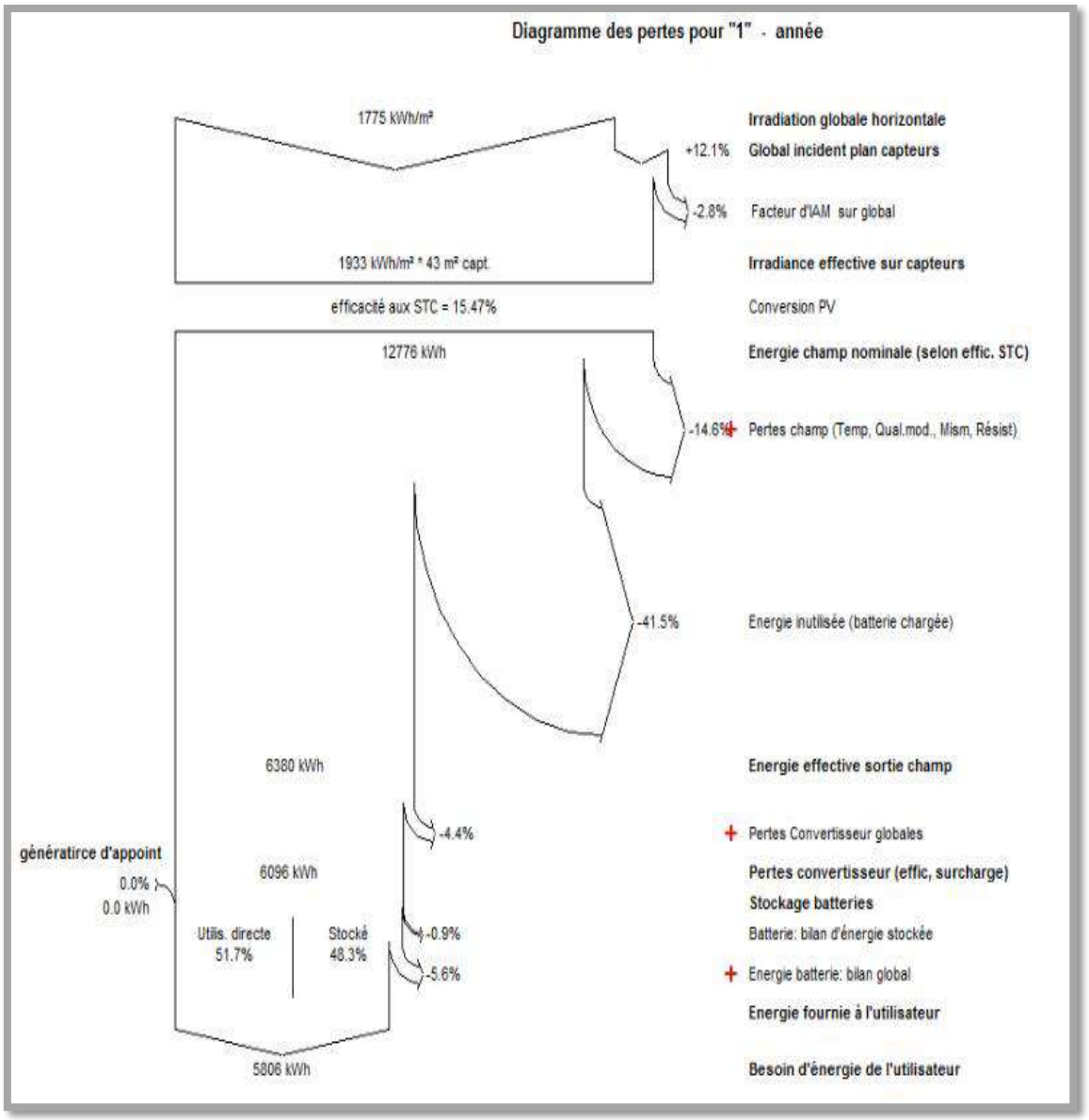


Figure III.21 : des pertes pour 1 année d'un système PV isole.

L'énergie nominale du réseau est de 12776 kWh, puis il calcule différents types de pertes en fonction des valeurs définies dans la configuration de perte. La conception est sur le mois critique et donc la batterie doit être sélectionnée avec une capacité suffisante pour répondre aux besoins de charge et d'autonomie, de sorte que la perte d'énergie inutilisée dans le diagramme prend une grande quantité. Et enfin l'énergie aux charges est de 5806 kWh indique que l'ensemble du système a un rendement de 45.44%.

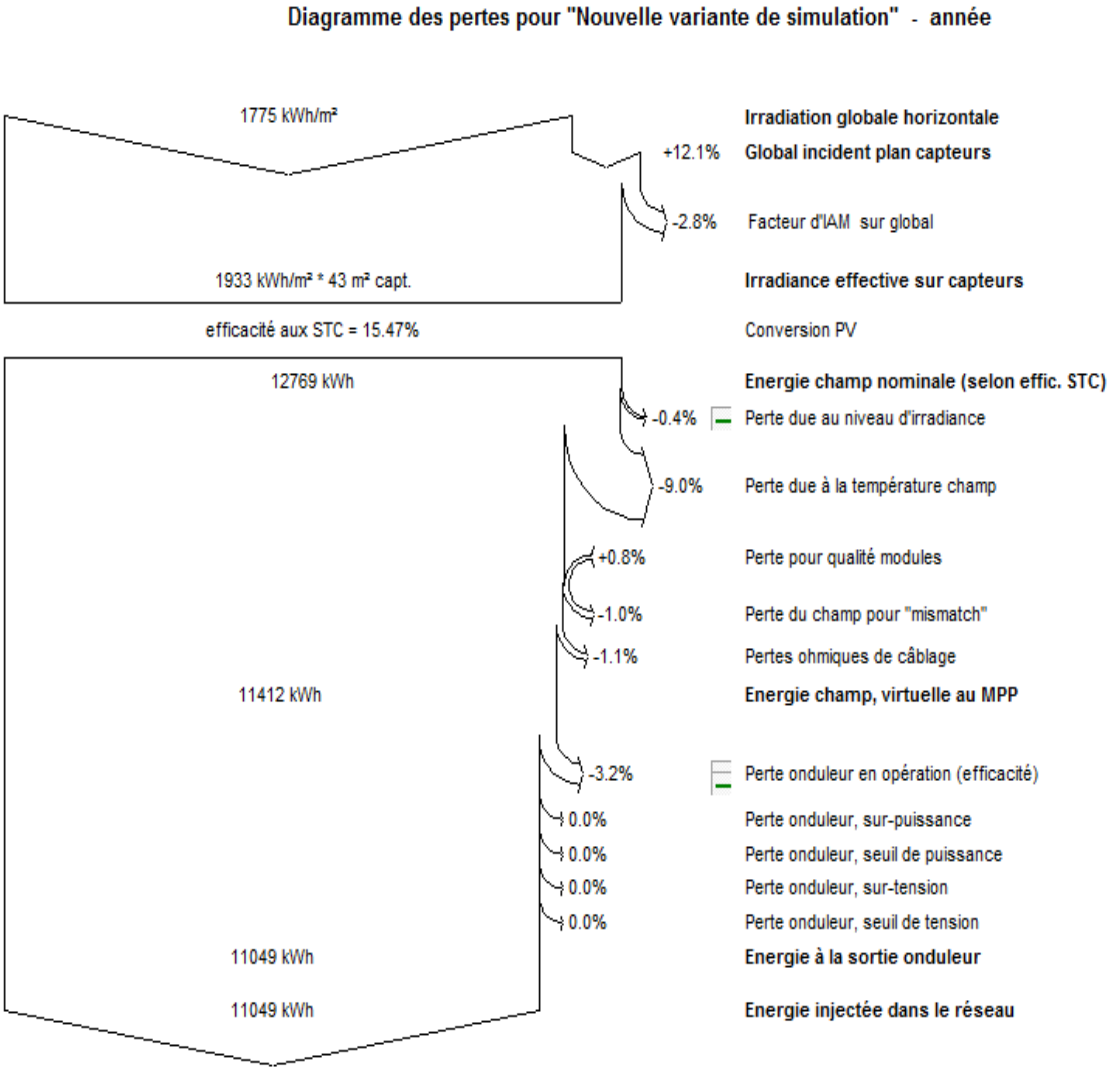


Figure III.22 : des pertes pour 1 année d'un système PV non isolent.

Figure III.22 résume les pertes influençant la production du système PV à savoir, les pertes ohmiques du câblage, effets d'incidence, pertes dues à la température du champ, pertes dues à la qualité des modules, ….etc. Parmi celles-ci, nous remarquons que la contribution la plus importante est celle de l'onduleur, d'où l'importance de prendre en considération l'efficacité

de l'onduleur. En effet, l'énergie produite par le champ, estimée à 11412 KWh est réduire à 11049 KWh à la sortie de l'onduleur comme l'illustre de figure III.22.

III.8.3 Énergie produite

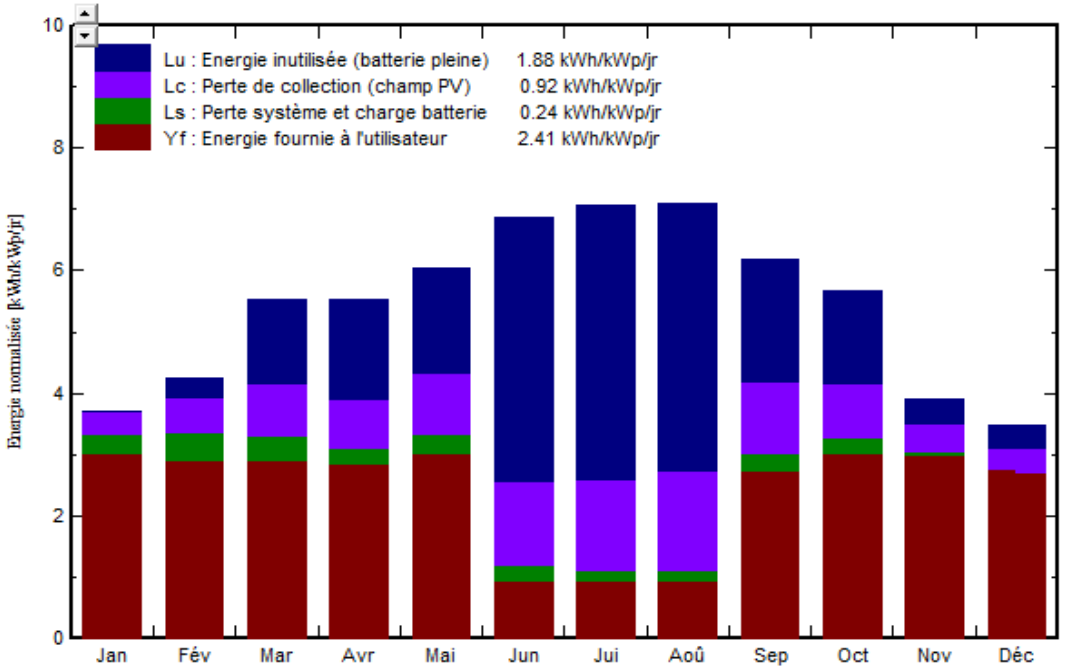


Figure III.23:Énergie utile produite par PV (à la sotie de battrie).

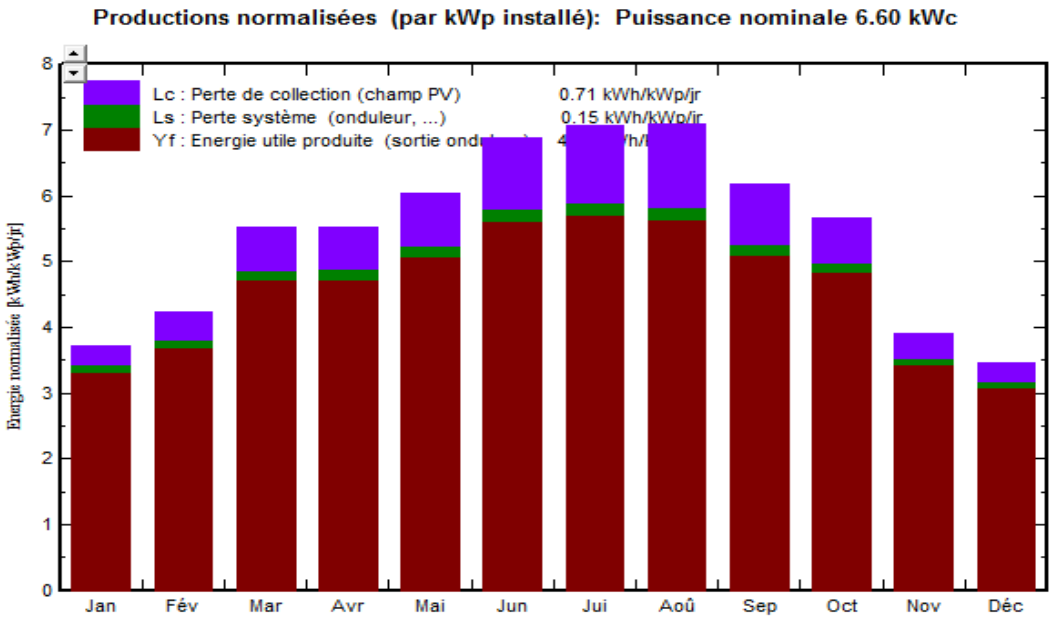


Figure III.24 : Énergie utile produite par le système non isole (à la sotie de l'onduleur).

La production du système (à la sortie de l'onduleur :Yf) est représentée sur la figure III.24 Les pertes Lc et Ls sont les pertes correspondantes au champ PV et dues à l'onduleur, respectivement.

III.8.4 indice de performance d'un système pv

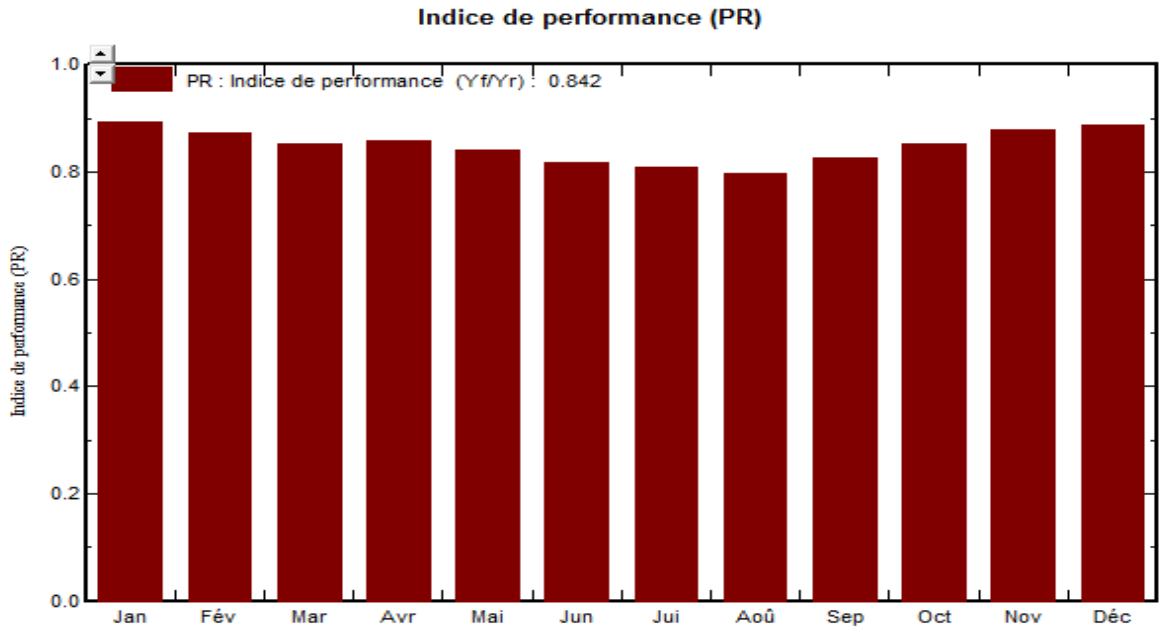


Figure III.25: indice de performance d'un système pv non isole.

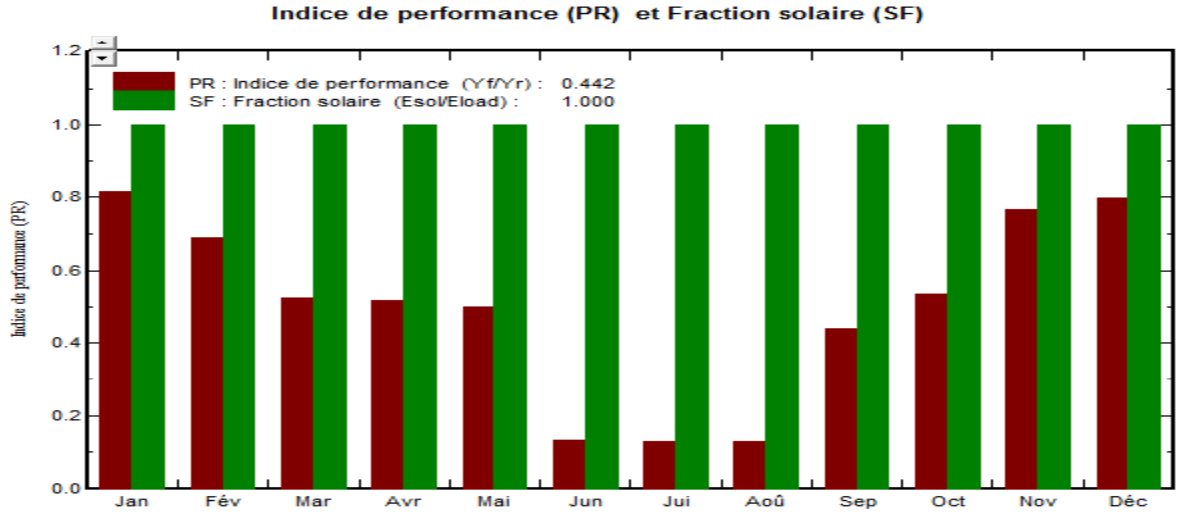


Figure III.26: indice de performance d'un système PV isole.

La figure III.26 représente l'indice de performance qui est défini par le rapport de la production du système (Yf) par l'énergie incidente de référence (Yr) tel que PR= Yf/Yr. Autrement dit, il représente l'efficacité globale du système par rapport à ce qu'on pourrait en

attendre selon la puissance installée et peut atteindre 80 % dans les meilleures installations PV.

III.8.5 Fonctionnement et performances de batteries.

Tableaux III.12 : Fonctionnement et performances de batteries.

	U batt (V)	SOCmean	EffBatI %	EffBatE %
janvier	49.4	0.572	88.4	71.4
Février	50.2	0.754	61.9	52.5
Mars	50.5	0.824	56.3	49.0
Avril	50.5	0.819	49.0	51.6
Mai	50.7	0.855	52.1	52.3
Juin	50.8	0.888	39.0	31.9
Juillet	50.8	0.890	37.1	35.9
Aout	50.8	0.889	37.1	35.9
Septembre	50.6	0.848	48.4	46.4
Octobre	50.7	0.865	47.6	48.7
Novembre	50.3	0.776	68.6	82.0
Décembre	50.0	0.724	93.1	113.3
Année	50.5	0.809	89.4	87.6

SOCmean: état moyen de charge

EffbatI: efficacité de charge / décharge du courant de la batterie

EffbatE: efficacité de charge / décharge de l'énergie de la batterie

La tension de la batterie est affectée par la température, il augmente avec l'augmentation de la température et diminue lorsque la température diminue, L'état de charge de la batterie diminue également à basse température.

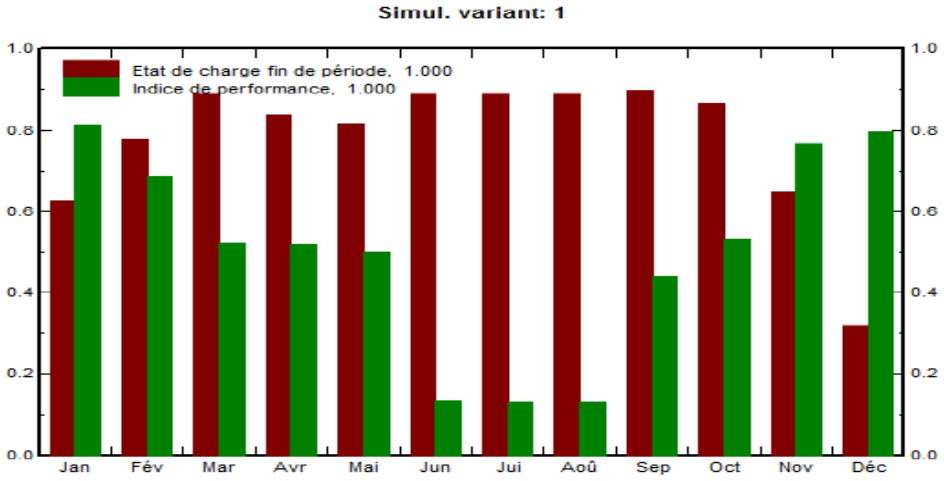


Figure **III.27: Les fonctions et les performances de batterie.**

Dans ce tableau III.12 et Figure III.27 on représente le fonctionnement et les performances des batteries pendant les mois de l'année.

On remarque bien que l'état de charge des batteries est élevée pendant la période estivale est faible pendant la période hivernale.

III.8.6 Diagramme journalier Entrée/Sortie du système PV

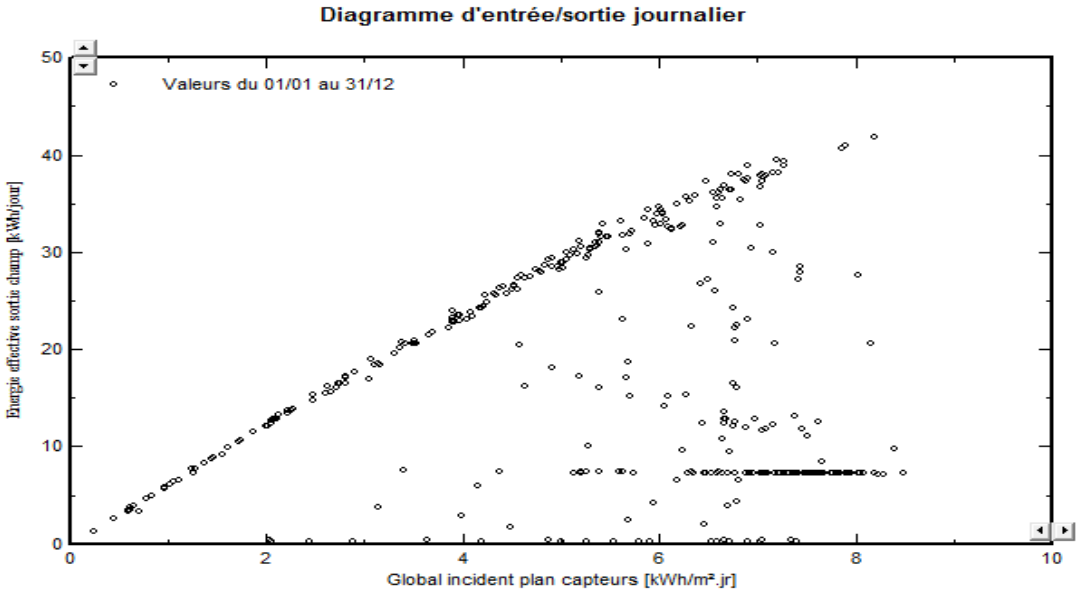


Figure III.28: Diagramme journalier Entrée/Sortie du système PV isole.

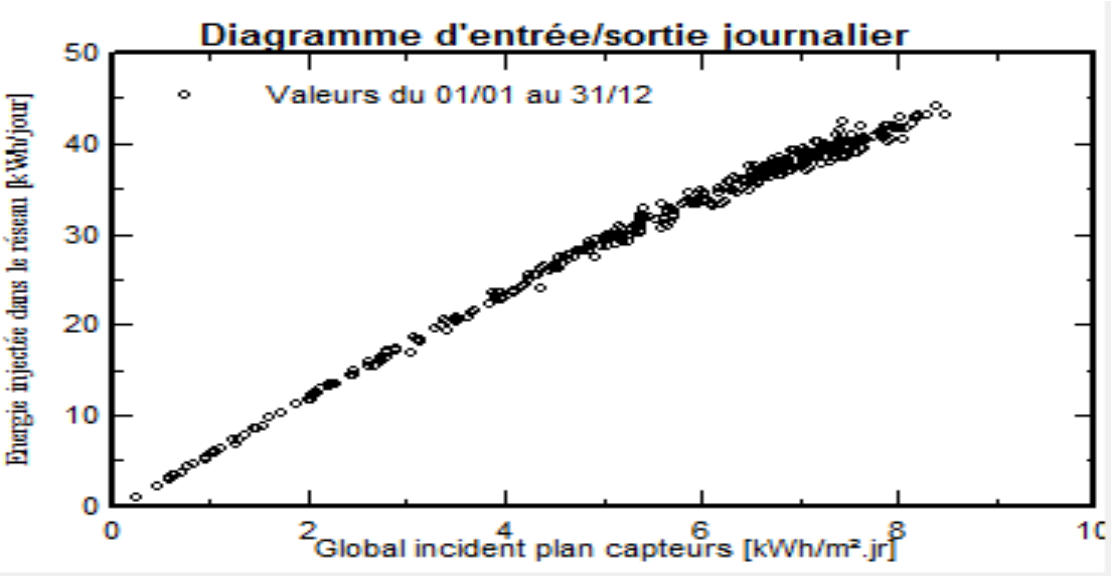


Figure III.29: Diagramme journalier Entrée/Sortie du système PV non isole.

En plus des bilans mensuels et annuels, le résultat le plus signifiant est présenté sous forme de diagramme d'Entrée/Sortie reportant, pour chaque période, l'énergie produite en fonction de l'énergie incidente (figure III.29). Les points de fonctionnement sont alignés sur une droite, dont la pente est directement liée à l'efficacité du système.

III.8.7. Énergie incidente de référence sur le plan des panneaux.

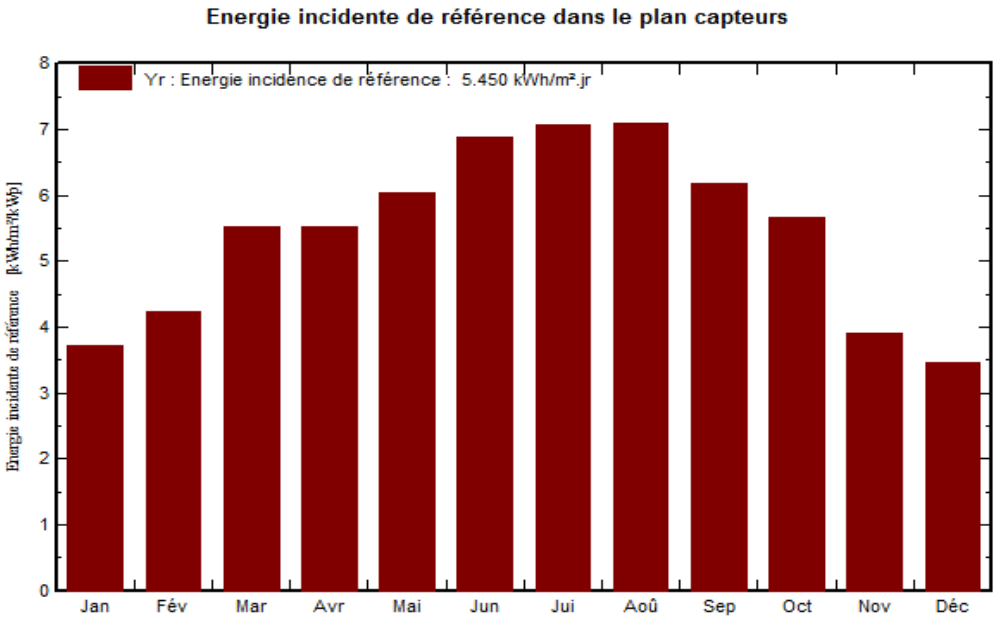


Figure III.30:Énergie incidente de référence sur le plan des panneaux.

L'énergie journalière incidente sur le plan des panneaux est de 5.450 KWh/m².jour (figure III.30) pour un fonctionnement en mode normal.

III.8.8 Les données de météorologique et l'irradiation

Tableau III.13. Les données de météorologique et l'irradiation.

	Irradiation globale horizontale kwh/m²	Irradiation diffuse horizontale kwh/m²	Température ambiante ˚c	Irradiation globale de l'incident kwh/m²	Incident irradiation diffuse kwh/m²
Janvier	73.5	36.85	9.5	115.1	44.23
Février	85.7	40.96	11.20	118.5	46.85
Mars	139.2	53.27	12.70	171.5	58.72
Avril	157.8	67.52	13.70	165.4	68.52
Mai	197.8	72.55	16.80	187.5	70.41
Juin	231.6	62.01	20.70	206.4	59.45
Juillet	239.9	62.54	22.00	219.2	60.87
Aout	217.0	54.31	23.30	219.9	55.97
Septembre	158.1	56.65	19.50	185.3	61.95
Octobre	128.3	50.05	16.50	157.7	59.52
Novembre	79.5	41.44	12.30	117.0	48.40
Décembre	66.7	33.33	10.70	107.6	40.54
Année	1775.1	631.48	15.77	1989.1	675.44

III.9.Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la méthode de simulation de notre étude, en ce qui concerne la partie photovoltaïque, notre étude était basée sur la modélisation et la simulation d'un système photovoltaïque autonome avec logiciel PVsyst.

Nous avons calculé les besoin énergétique de notre habitat, ainsi, le nombre de modules photovoltaïques nécessaires pour l'école est 22 modules chacun a une surface de 1.942m².

Enfin, les méthodes que nous avons utilisées répondent convenablement à nos questions sur les besoins énergétiques de notre école. et nous avons présenté les principes caractéristiques et technologiquesdes éléments constitutifs d'un générateur PV et nous avons montrél'augmentation du courant ou la tension d'un générateur photovoltaïque ainsi nous avons montré bien l'influence de la température et l'éclairement sur le rendement de la cellule,

et on constate que la puissance ne dépend pas seulement de la température mais aussi de l'éclairement.

Nous avons présenté les résultats sous la forme de graphiques divisés les différents types pour l'affichage

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Le travail présenté dans ce mémoire concerne une application de l'énergie renouvelable, celle de l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque.

Le but du travail présenté dans ce mémoire, étude et analyse d'un système PV pour l'alimentation d'une école, avec comme objectif de maintenir un niveau de fiabilité élevé avec un coût minimal grâce à un dimensionnement optimal de systèmes PV.

Un système photovoltaïque (PV) autonome est un système générateur d'électricité destiné à effectuer une tâche bien déterminée. Autrement dit à couvrir les besoins énergétiques de l'école. Ce système se compose de plusieurs éléments principalement les modules PV qui représentent le champ de captage des rayons solaires, les batteries qui constituent le champ de stockage : c'est là où nous stockons de l'énergie produite par les modules ; le régulateur qui protège la batterie contre la surcharge. Ainsi il règle la valeur de la tension nominale ; l'onduleur qui assure la conversion du courant continu en courant alternatif dont les utilisateurs ont besoin ; le câblage qui relie les différents composants du système entre eux.

Afin de réussir une installation photovoltaïque autonome, nous avons mentionné une étude détaillée concernant la méthode de dimensionnement du système PV que nous avons choisi, située au site de Médéa en tenant compte de sa consommation estimée à partir des appareil électriques disponible, sans oublier l'éclairage de l'école. L'énergie produite dépend directement des fluctuations permanentes des conditions météorologiques de notre site d'utilisation et de la charge imposée par l'utilisateur ainsi qu'aux nombre de jours d'autonomie.

Ces solutions exigent un dimensionnement laborieux préalable basé sur une connaissance approfondie du gisement en énergies renouvelables de l'école "Abd El Hafid Skender de Médéa. Nous avons utilisé le logiciel PVsystem6.43 pour trouver les résultats suivants :

Pour la configuration du système, nous devons d'abord définir les besoins de l'utilisateur, dans un système autonome, la consommation d'énergie est basée sur l'utilisation quotidienne, mensuelle ou annuelle, la consommation d'énergie quotidienne de l'école 3.14 kw/j et 6072 wh/j.

Et pour répondre aux besoins d'électriques de l'école nous avons besoin de 22 panneaux solaires de type (A-Sun by Aton Energy) de cellule solaire de mono cristallines, pour fournir une puissance maximum nominale de 300 w, dans ce cas-là, nous avons liée 11 panneaux solaires en série et 2 en parallèle.

On installe ces panneaux photovoltaïques orientés sur le côté sud dans la mesure du possible,on incline les panneaux solaires à 36°, très précisément. Dans cette position, l'équipement capte la lumière du soleil dans des conditions optimales, pour produire l'électricité.

Les caractéristiques d'un module solaire montrent bien que la puissance maximale générée dépend fortement de l'intensité des radiations solaires ainsi que de la température. Le module solaire ne peut générer sa puissance maximale que pour une certaine tension et courant de fonctionnement.

Après cela pour stocker l'énergie dont nous avons, besoindes batteries de type Rolls de capacité 296 A et 12v. Et pour garantir la protection et le fonctionnement du parc de stockage, nous optons à utiliser 01 régulateurs dans notre installation.

La présence de l'onduleur dans notre application a pour but de convertir le courant continu produit par les panneaux photovoltaïques en courant alternatif, qui sera distribué via nos appareils électriques,

L'école consomme une partie de sa production et injecte au réseau le solde (surplus) ; (production consommation), lorsque la consommation dépasse la production, l'école soutire du réseau électrique.

Finalement nous avons conclu que les systèmes PV autonomes peuvent jouer un rôle très important en apportant une solution réellement économique pour couvrir les besoins de base en électricité, puisque un grand nombre de populations mondiale vit sans accès à l'électricité principalement dans les pays en voie de développement. En fait la majorité de

cette population ne sera jamais reliée à un réseau national pour des questions de rentabilité liées à l'éloignement, à la fiable densité de population, à la pauvreté ou au manque de besoin.

Nous pouvons dire qu'utiliser d'autres sources propres d'énergie comme le soleil c'est à dire l'énergie solaire est une solution de plusieurs problèmes et nous pouvons l'installer et l'utiliser quand on veut.



Annexe 1

Irradiation globale à l'emplacement choisi

Site: 36°16'30" Nord, 2°45'38" Est,Élévation: 979 m.s.n.m,

L'angle d'inclinaison optimale est: 32 degrés

Irradiation annuelle perdue à cause des ombres (horizontale): 0.1 %

Mois	Hh	Hopt	H(36)	DNI	Iopt	D/G
Jan	2430	3830	3940	3530	60	0.40
Fev	3120	4340	4430	3900	52	0.39
Mar	4620	5550	5580	4700	39	0.41
Avr	5450	5760	5700	5260	23	0.36
Mai	6560	6270	6120	6310	11	0.33
Juin	7840	7090	6870	8480	3	0.23
Jui	7830	7260	7060	8490	6	0.23
Aug	7080	7230	7120	7920	19	0.24
Sep	5350	6210	6210	5860	34	0.32
Oct	4220	5690	5780	5340	49	0.34
Nov	2720	4140	4250	3780	58	0.40
Dec	2170	3550	3670	3300	62	0.42
Année	4960	5580	5570	5580	32	0.31

Hh: Irradiation sur un plan horizontal (Wh/m2/jour)

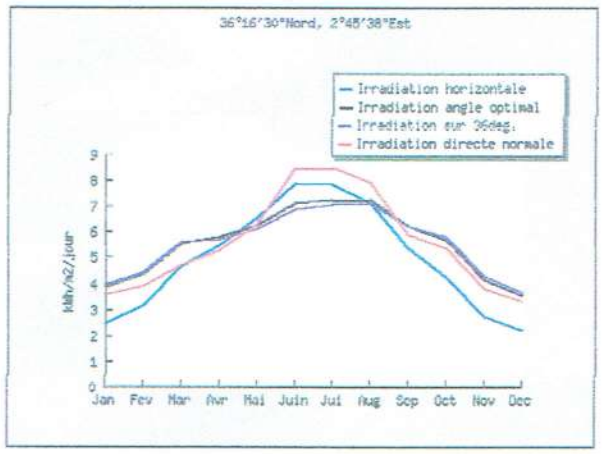
Hopt: Irradiation sur un plan avec l'inclinaison optimale (Wh/m2/jour)

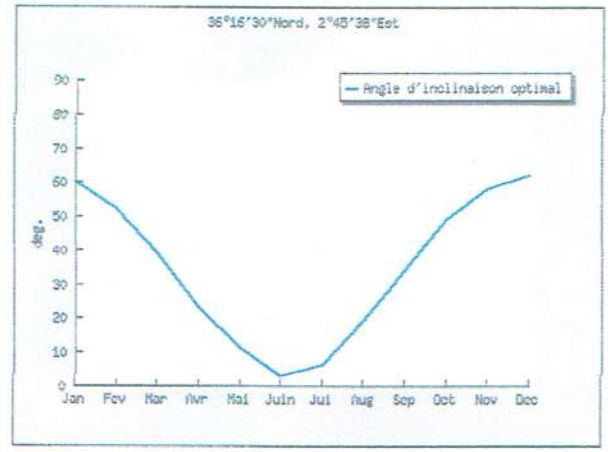
H(36): Irradiation sur un plan incliné:36deg. (Wh/m2/jour)

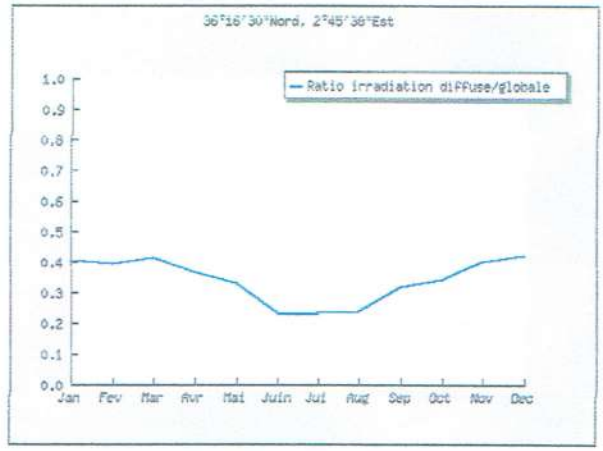
DNI: Irradiation directe normale (Wh/m2/jour)

Iopt: Inclinaison optimale (deg.)

D/G: Proportion entre l'irradiation diffuse et la globale (-)







PVGIS (c) European Communities, 2001-2012
Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged.
http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/

Disclaimer:

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. However the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

This information is:

- of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity;
- not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date;
- not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).

Some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.



Annexe 2

Système isolé avec batteries: Paramètres de simulation

Projet : **Etude d'un system pv pour l'alimentation d'un ecole**

Site géographique

Situation	Latitude	36.3°N	Longitude	2.7°E
Temps défini comme	Temps légal	Fus. horaire TU+1	Altitude	981 m
	Albédo	0.20		
Données météo:	**Medea**	Synthétique		

Variante de simulation : 1

Date de la simulation 31/05/18 à 04h06

Paramètres de simulation

Orientation plan capteurs	Inclinaison	36°	Azimut	0°
Modèles utilisés	Transposition	Perez	Diffus	Perez, Meteonorm

Caractéristiques du champ de capteurs

Module PV Si-mono	Modèle	**ASUN300-M**		
Original PVsyst database	Fabricant	A-Sun by Aton Energy		
Nombre de modules PV	En série	11 modules	En parallèle	2 chaînes
Nombre total de modules PV	Nbre modules	22	Puissance unitaire	300 Wc
Puissance globale du champ	Nominale (STC)	**6.60 kWc**	Aux cond. de fonct.	5.73 kWc (50°C)
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)	U mpp	341 V	I mpp	17 A
Surface totale	Surface modules	**42.7 m²**		

Facteurs de perte du champ PV

Fact. de pertes thermiques	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (vent)	0.0 W/m²K / m/s
Perte ohmique de câblage	Rés. globale champ	349 mOhm	Frac. pertes	1.5 % aux STC
Perte diode série	Chute de tension	0.7 V	Frac. pertes	0.2 % aux STC
Perte de qualité module			Frac. pertes	1.0 %
Perte de "mismatch" modules			Frac. pertes	1.0 % au MPP
Effet d'incidence, paramétrisation ASHRAE	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Param. bo	0.05

Paramètres du système	Type de système	**Système Isolé avec batteries et génératrice**		
Batterie	Modèle	**12-CS-11PS**		
	Fabricant	Rolls		
Caractéristiques du banc de batteries	Tension	48 V	Capacité nominale	2664 Ah
	Nombre d'unités	4 en série x 9 en parallèle		
	Température	Fixée (20°C)		
Controller	Modèle	Universal controller with MPPT converter		
	Technologie	MPPT converter	Coeff. de temp.	-5.0 mV/°C/elem.
Convertisseur	Efficacité maxi et EURO	97.0/95.0 %		
Battery management control	Treshold commands as	SOC calculation		
	Charge	SOC = 0.90/0.75	i.e. approx.	62.4/50.1 V
	Décharge	SOC = 0.20/0.45	i.e. approx.	45.8/48.9 V
	Commande génératrice d'appoint	SOC = 0.25/0.45	i.e. approx.	46.4/53.8 V
génératrice d'appoint	Modèle	3 kW		
	Fabricant	Back-up generator		
	Nominal power	3.0 kW		

Besoins de l'utilisateur :	Consomm. domestique	Modulation saisonnière		
	moyenne	15.9 kWh/Jour		

Système isolé avec batteries: Besoins de l'utilisateur

Projet : **Etude d'un system pv pour l'alimentation d'un ecole**

Variante de simulation : **1**

Principaux paramètres système	Type de système	**Isolé avec batteries et génératrice**			
Orientation plan capteurs	inclinaison	36°		azimut	0°
Modules PV	Modèle	ASUN300-M		Pnom	300 Wc
Champ PV	Nombre de modules	22		Pnom total	**6.60 kWc**
Batterie	Modèle	12-CS-11PS		Technologie	cellée, plaques
batteries	Nombre d'unités	36		Tension / Capacité	**48 V / 2664 Ah**
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Modulation saisonnière		global	5806 kWh/an

Consomm. domestique, Modulation saisonnière, moyenne = 15.9 kWh/jr

Eté (Juin-Août)

	Nombre	Puissance	Utilisation	Energie
Lamps (LED or fluo)	18	36 W/lampe	9 h/jour	5832 Wh/jour
Frigo / Congélateur	2		24 Wh/jour	240 Wh/jour
Energie journalière totale				6072 Wh/jour

Automne (Sep-Nov)

Utilisation 5 jours par semaine	Nombre	Puissance	Utilisation	Energie
Lamps(classe+bureau)	97	18 W/lampe	10 h/jour	17460 Wh/jour
Lamps(couloire+garage+wc+escalier)	30	18 W/app	4 h/jour	2160 Wh/jour
Lamps (cuisine)	13	18 W/app	7 h/jour	1638 Wh/jour
Frigo / Congélateur	2		24 Wh/jour	240 Wh/jour
tv + imprimente	2		4 Wh/jour	600 Wh/jour
modem	1	6 W tot	10 h/jour	60 Wh/jour
pc	1	48 W tot	10 h/jour	480 Wh/jour
Consomm. de veille			24 h/jour	4272 Wh/jour
Energie journalière totale				26910 Wh/jour

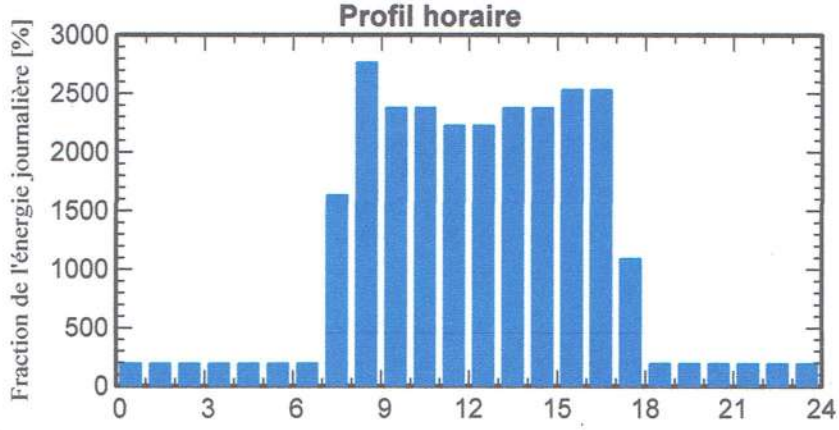
Hiver (Déc-Fév)

Utilisation 5 jours par semaine	Nombre	Puissance	Utilisation	Energie
Lamps(classe+bureau)	97	18 W/lampe	10 h/jour	17460 Wh/jour
Lamps(couloire+garage+wc+escalier)	30	18 W/app	4 h/jour	2160 Wh/jour
Lamps (cuisine)	13	18 W/app	7 h/jour	1638 Wh/jour
Frigo / Congélateur	2		24 Wh/jour	240 Wh/jour
tv + imprimente	2		4 Wh/jour	600 Wh/jour
modem	1	6 W tot	10 h/jour	60 Wh/jour
pc	1	48 W tot	10 h/jour	480 Wh/jour
Consomm. de veille			24 h/jour	4272 Wh/jour
Energie journalière totale				26910 Wh/jour

Printemps (Mars-Mai)

Utilisation 5 jours par semaine	Nombre	Puissance	Utilisation	Energie
Lamps(classe+bureau)	97	18 W/lampe	10 h/jour	17460 Wh/jour
Lamps(couloire+garage+wc+escalier)	30	18 W/app	4 h/jour	2160 Wh/jour
Lamps (cuisine)	13	18 W/app	7 h/jour	1638 Wh/jour
Frigo / Congélateur	2		24 Wh/jour	240 Wh/jour
tv + imprimente	2		4 Wh/jour	600 Wh/jour
modem	1	6 W tot	10 h/jour	60 Wh/jour
pc	1	48 W tot	10 h/jour	480 Wh/jour
Consomm. de veille			24 h/jour	4272 Wh/jour
Energie journalière totale				26910 Wh/jour

Profil horaire



Système isolé avec batteries: Résultats principaux

Projet : **Etude d'un system pv pour l'alimentation d'un ecole**

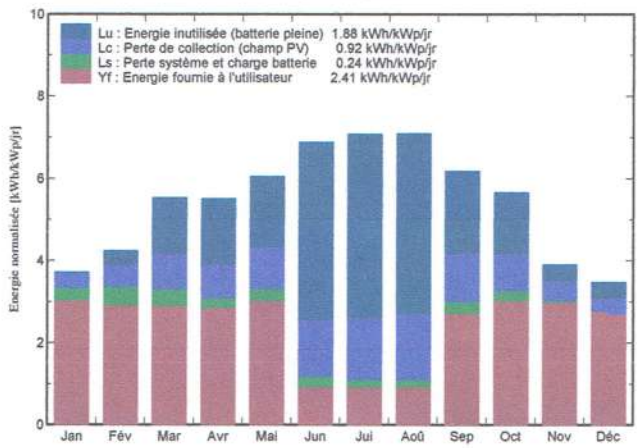
Variante de simulation : **1**

Principaux paramètres système	Type de système	**Isolé avec batteries et génératrice**			
Orientation plan capteurs	inclinaison	36°	azimut	0°	
Modules PV	Modèle	ASUN300-M	Pnom	300 Wc	
Champ PV	Nombre de modules	22	Pnom total	**6.60 kWc**	
Batterie	Modèle	12-CS-11PS	Technologie	cellée, plaques	
batteries	Nombre d'unités	36	Tension / Capacité	**48 V / 2664 Ah**	
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Modulation saisonnière	global	5806 kWh/an	

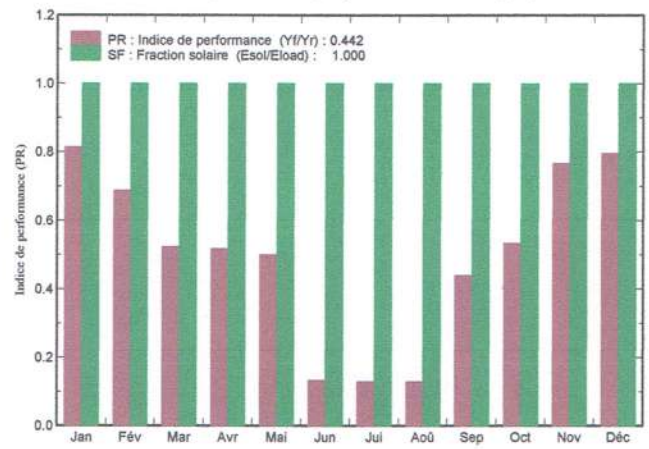
Principaux résultats de la simulation

Production du système	**Energie disponible**	**10.62 MWh/an**	Productible	1610 kWh/kWc/an
	Energie utilisée	5.81 MWh/an	En excès (inutilisée)	4.53 MWh/an
	Indice de performance (PR)	44.2 %	Fraction solaire (SF)	100.0 %
Energie d'appoint de la génératrice	Energie d'appoint	0.00 MWh/an	Consomm. de carburant	0/an
Investissement	Global avec taxes	2190386 DZD	Spécifique	332 DZD/Wp
Coût annuel	Annuités (Emprunt 7.0%, 20 ans)	206757 DZD/an	Coût d'exploitation	0 DZD/an
Coût de l'énergie		**35.6 DZD/kWh**		

Productions normalisées (par kWp installé): Puissance nominale 6.60 kWc



Indice de performance (PR) et Fraction solaire (SF)



1

Bilans et résultats principaux

	GlobHor kWh/m²	GlobEff kWh/m²	E Avail MWh	EUnused MWh	E User MWh	E Load MWh	SolFrac
Janvier	73.5	112.1	0.652	0.000	0.619	0.619	1.000
Février	85.7	115.7	0.654	0.058	0.538	0.538	1.000
Mars	139.2	166.9	0.927	0.280	0.592	0.592	1.000
Avril	157.8	160.6	0.902	0.318	0.565	0.565	1.000
Mai	197.8	181.7	0.998	0.349	0.619	0.619	1.000
Juin	231.6	199.7	1.079	0.855	0.182	0.182	1.000
Juillet	239.9	212.4	1.130	0.915	0.188	0.188	1.000
Août	217.0	213.5	1.109	0.894	0.188	0.188	1.000
Septembre	158.1	180.4	0.964	0.394	0.538	0.538	1.000
Octobre	128.3	171.3	0.950	0.308	0.619	0.619	1.000
Novembre	79.5	114.0	0.653	0.077	0.592	0.592	1.000
Décembre	66.7	104.9	0.606	0.078	0.565	0.565	1.000
Année	1775.1	1933.2	10.624	4.528	5.805	5.806	1.000

Légendes:
- GlobHor — Irradiation globale horizontale
- GlobEff — Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages
- E Avail — Energie solaire disponible
- EUnused — Energie inutilisée (batterie chargée)
- E User — Energie fournie à l'utilisateur
- E Load — Besoin d'énergie de l'utilisateur
- SolFrac — Fraction solaire (Eutile / Ebesoin)

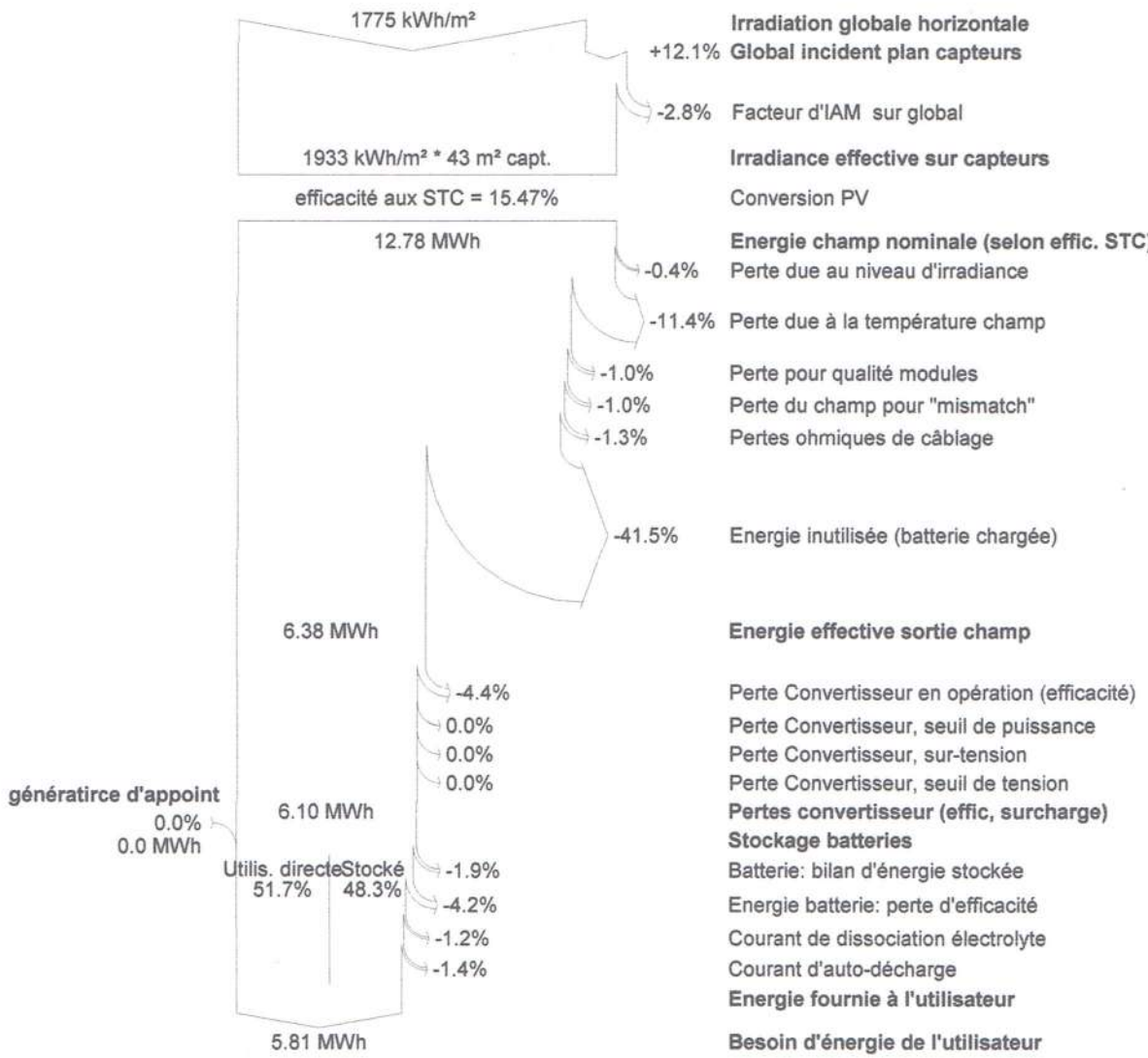
Système isolé avec batteries: Diagramme des pertes

Projet : **Etude d'un system pv pour l'alimentation d'un ecole**

Variante de simulation : **1**

Principaux paramètres système	Type de système	**Isolé avec batteries et génératrice**		
Orientation plan capteurs	inclinaison	36°	azimut	0°
Modules PV	Modèle	ASUN300-M	Pnom	300 Wc
Champ PV	Nombre de modules	22	Pnom total	**6.60 kWc**
Batterie	Modèle	12-CS-11PS	Technologie	cellée, plaques
batteries	Nombre d'unités	36	Tension / Capacité	**48 V / 2664 Ah**
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Modulation saisonnière	global	5806 kWh/an

Diagramme des pertes sur l'année entière



Système isolé avec batteries: Evaluation économique

Projet : **Etude d'un system pv pour l'alimentation d'un ecole**

Variante de simulation : **1**

Principaux paramètres système	Type de système	**Isolé avec batteries et génératrice**			
Orientation plan capteurs	inclinaison	36°		azimut	0°
Modules PV	Modèle	ASUN300-M		Pnom	300 Wc
Champ PV	Nombre de modules	22		Pnom total	**6.60 kWc**
Batterie	Modèle	12-CS-11PS		Technologie	cellée, plaques
batteries	Nombre d'unités	36	Tension / Capacité		**48 V / 2664 Ah**
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Modulation saisonnière		global	5806 kWh/an

Investissement

Modules PV (Pnom = 300 Wc)	22 unités	30000 DZD / unité	660000 DZD
Supports et intégration		1000 DZD / module	22000 DZD
Batteries (12 V / 296 Ah)	36 unités	35485 DZD / unité	1277460 DZD
régulateur / convertisseur			2900 DZD
Construction, câblage, ...			3000 DZD
Génératirce d'appoint(3.0 kW			2900 DZD
onduleur			7000 DZD
Transport et montage			1000 DZD
Ingéniérie			15000 DZD
Moins-value substitution			0 DZD
Investissement brut (sans taxes)			**1991260 DZD**

Financement

Investissement brut (sans taxes)		1991260 DZD
Taxes sur l'investissement (TVA)	Taux 10.0 %	199126 DZD
Investissement brut (TTC)		2190386 DZD
Subventions		0 DZD
Investissement net (TTC)		**2190386 DZD**
Annuités	(Emprunt 7.0 % sur 20 ans)	206757 DZD/an
Entretien		0 DZD/an
assurance, taxes annuelles		0 DZD/an
Provision remplacement batteries	(durée de vie 100.0 ans)	0 DZD/an
Carburant génératrice d'appoint	(Energie d'appoint 0 kWh/an)	0 DZD/an
Coût annuel total		**206757 DZD/an**

Coût de l'énergie

Energie solaire utilisée	5805 kWh / an
Energie en excès (batterie pleine)	4528 kWh / an
Coût de l'énergie utilisée	35.6 DZD / kWh



Annexe 3

Système couplé au réseau: Paramètres de simulation

Projet : **Projet PV couplé au réseau at Medea**

Site géographique	**Medea**		Pays	**Algeria**
Situation	Latitude	36.3°N	Longitude	2.7°E
Temps défini comme	Temps légal	Fus. horaire TU+1	Altitude	981 m
	Albédo	0.20		
Données météo:	**Medea**	Synthétique		

Variante de simulation : **Nouvelle variante de simulation**

Date de la simulation 09/06/18 à 02h13

Paramètres de simulation

Orientation plan capteurs	Inclinaison	36°	Azimut	0°
Modèles utilisés	Transposition	Perez	Diffus	Perez, Meteonorm
Horizon	Pas d'horizon			
Ombrages proches	Sans ombrages			

Caractéristiques du champ de capteurs

Module PV	Si-mono	Modèle	**ASUN300-M**		
Original PVsyst database		Fabricant	A-Sun by Aton Energy		
Nombre de modules PV		En série	11 modules	En parallèle	2 chaînes
Nombre total de modules PV		Nbre modules	22	Puissance unitaire	300 Wc
Puissance globale du champ		Nominale (STC)	**6.60 kWc**	Aux cond. de fonct.	5.73 kWc (50°C)
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)		U mpp	341 V	I mpp	17 A
Surface totale		Surface modules	**42.7 m²**		

Onduleur		Modèle	**VS3**		
Original PVsyst database		Fabricant	Voltwerk		
Caractéristiques	Tension de fonctionnement		250-750 V	Puissance unitaire	3.00 kWac
Batterie d'onduleurs		Nbre d'onduleurs	2 unités	Puissance totale	6.0 kWac

Facteurs de perte du champ PV

Fact. de pertes thermiques	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (vent)	0.0 W/m²K / m/s
Perte ohmique de câblage	Rés. globale champ	349 mOhm	Frac. pertes	1.5 % aux STC
Perte de qualité module			Frac. pertes	1.0 %
Perte de "mismatch" modules			Frac. pertes	1.0 % au MPP
Effet d'incidence, paramétrisation ASHRAE	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Param. bo	0.05

Besoins de l'utilisateur : Charge illimitée (réseau)

Système couplé au réseau: Résultats principaux

Projet : **Projet PV couplé au réseau at Medea**

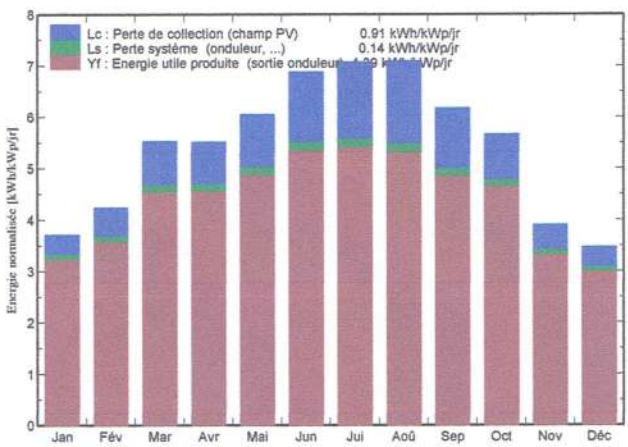
Variante de simulation : **Nouvelle variante de simulation**

Principaux paramètres système	Type de système	**Couplé au réseau**			
Orientation plan capteurs	inclinaison	36°	azimut	0°	
Modules PV	Modèle	ASUN300-M	Pnom	300 Wc	
Champ PV	Nombre de modules	22	Pnom total	**6.60 kWc**	
Onduleur	Modèle	VS3	Pnom	3000 W ac	
Batterie d'onduleurs	Nombre d'unités	2.0	Pnom total	**6.00 kW ac**	
Besoins de l'utilisateur	Charge illimitée (réseau)				

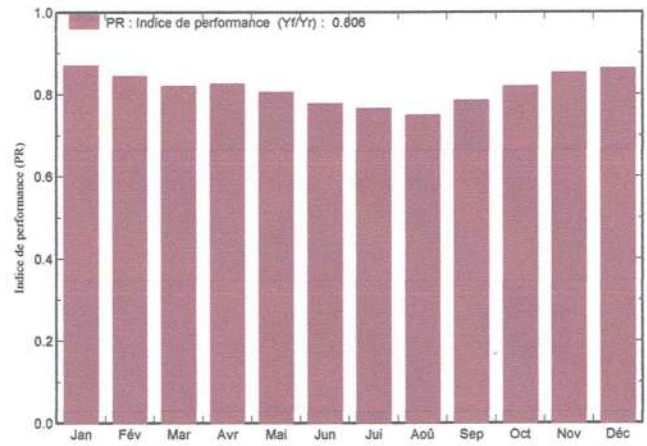
Principaux résultats de la simulation

Production du système	**Energie produite**	**10.58 MWh/an**	Productible	1604 kWh/kWc/an
	Indice de performance (PR)	80.6 %		
Investissement	Global avec taxes	796400 DZD	Spécifique	121 DZD/Wp
Coût annuel	Annuités (Emprunt 7.0%, 20 ans)	75175 DZD/an	Coût d'exploitation	0 DZD/an
Coût de l'énergie		**7.10 DZD/kWh**		

Productions normalisées (par kWp installé): Puissance nominale 6.60 kWc



Indice de performance (PR)



Nouvelle variante de simulation

Bilans et résultats principaux

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray MWh	E_Grid MWh	EffArrR %	EffSysR %
Janvier	73.5	9.50	115.1	112.1	0.684	0.661	13.90	13.44
Février	85.7	11.20	118.5	115.7	0.683	0.661	13.48	13.04
Mars	139.2	12.70	171.5	166.9	0.959	0.928	13.09	12.67
Avril	157.8	13.70	165.4	160.6	0.931	0.902	13.17	12.75
Mai	197.8	16.80	187.5	181.7	1.030	0.997	12.86	12.44
Juin	231.6	20.70	206.4	199.7	1.093	1.059	12.40	12.01
Juillet	239.9	22.00	219.2	212.4	1.144	1.108	12.22	11.83
Août	217.0	23.30	219.9	213.5	1.124	1.088	11.96	11.58
Septembre	158.1	19.50	185.3	180.4	0.991	0.960	12.51	12.13
Octobre	128.3	16.50	175.7	171.3	0.979	0.950	13.04	12.66
Novembre	79.5	12.30	117.0	114.0	0.679	0.658	13.58	13.16
Décembre	66.7	10.70	107.6	104.9	0.633	0.612	13.76	13.31
Année	1775.1	15.77	1989.1	1933.2	10.930	10.585	12.86	12.45

Légendes:

GlobHor	Irradiation globale horizontale	EArray	Energie effective sortie champ
T Amb	Température ambiante	E_Grid	Energie injectée dans le réseau
GlobInc	Global incident plan capteurs	EffArrR	Effic. Eout champ / surf. brute
GlobEff	Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages	EffSysR	Effic. Eout système / surf. brute

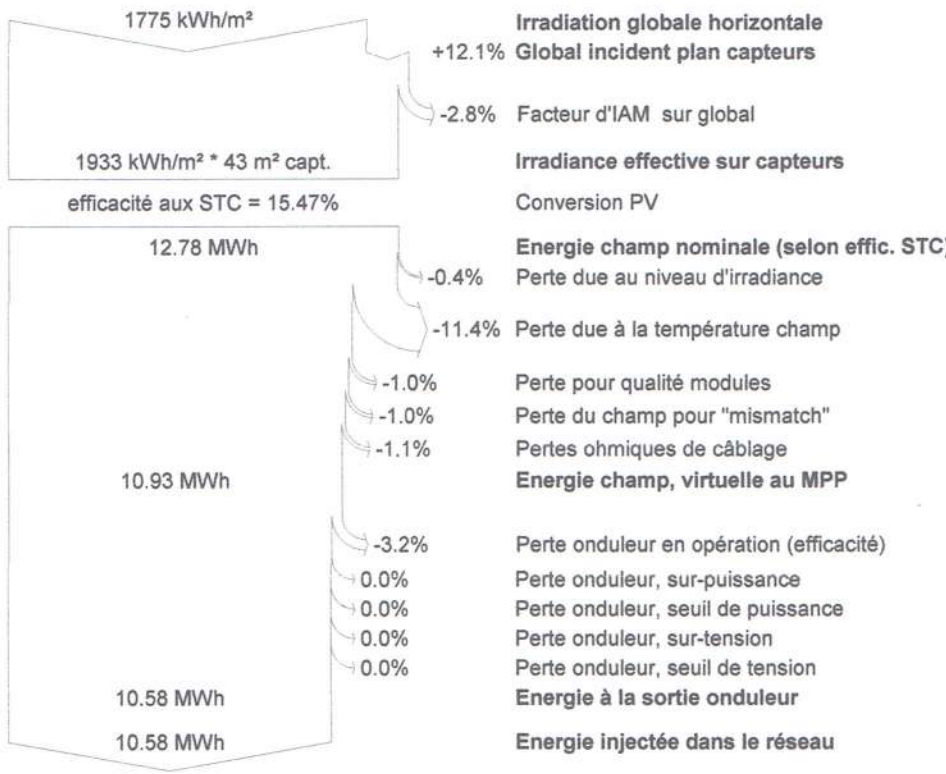
Système couplé au réseau: Diagramme des pertes

Projet : **Projet PV couplé au réseau at Medea**

Variante de simulation : **Nouvelle variante de simulation**

Principaux paramètres système	Type de système	**Couplé au réseau**		
Orientation plan capteurs	inclinaison	36°	azimut	0°
Modules PV	Modèle	ASUN300-M	Pnom	300 Wc
Champ PV	Nombre de modules	22	Pnom total	**6.60 kWc**
Onduleur	Modèle	VS3	Pnom	3000 W ac
Batterie d'onduleurs	Nombre d'unités	2.0	Pnom total	**6.00 kW ac**
Besoins de l'utilisateur	Charge illimitée (réseau)			

Diagramme des pertes sur l'année entière



Système couplé au réseau: Evaluation économique

Projet : **Projet PV couplé au réseau at Medea**

Variante de simulation : **Nouvelle variante de simulation**

Principaux paramètres système	Type de système	**Couplé au réseau**		
Orientation plan capteurs	inclinaison	36°	azimut	0°
Modules PV	Modèle	ASUN300-M	Pnom	300 Wc
Champ PV	Nombre de modules	22	Pnom total	**6.60 kWc**
Onduleur	Modèle	VS3	Pnom	3000 W ac
Batterie d'onduleurs	Nombre d'unités	2.0	Pnom total	**6.00 kW ac**
Besoins de l'utilisateur	Charge illimitée (réseau)			

Investissement

Modules PV (Pnom = 300 Wc)	22 unités	30000 DZD / unité	660000 DZD
Supports et intégration		1000 DZD / module	22000 DZD
Onduleurs (Pnom = 3.0 kW ac)	2 unités	7000 DZD / unité	14000 DZD
Construction, câblage, ...			3000 DZD
Transport et montage			10000 DZD
Ingéniérie			15000 DZD
Moins-value substitution			0 DZD
Investissement brut (sans taxes)			**724000 DZD**

Financement

Investissement brut (sans taxes)		724000 DZD
Taxes sur l'investissement (TVA)	Taux 10.0 %	72400 DZD
Investissement brut (TTC)		796400 DZD
Subventions		0 DZD
Investissement net (TTC)		**796400 DZD**
Annuités	(Emprunt 7.0 % sur 20 ans)	75175 DZD/an
Coût d'exploitation (maintenance, assurance, ...)		0 DZD/an
Coût annuel total		**75175 DZD/an**

Coût de l'énergie

Energie produite	10.6 MWh / an
Coût de l'énergie produite	7.10 DZD / kWh

Référence Bibliographiques

[1] SAADI Souad « Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan ». Mémoire de magistère en physique, universitéM'entourai de Constantine 2010 page.5.

[2] BEN GUEHZA Mohammed Lahkdar « Impact de l'espace entre les deux vitrages sur le rendement d'un capteur solaire ».Mémoire de magistère en physique, Université Kasdi Merbah Ouargla 2009 page.11.22.

[3] HADJ BELKACEMI Mohammed « Modélisation et Etude Expérimentation d'un Capteur Solaire non Vitré et Perforé ».Mémoire de Master en Energétique, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen2011 page.07.11.13.14.

[4] HELALI Kamelia **«** Modélisations d'une cellule photovoltaïque étude comparative **».** Ingénieure d'état en Electrotechnique, de l'UMMTO Tizi-Ouzou 2012 page.10.14.16.

[5] MATALLAH Sorya**«** Dimensionnement et simulation d'un système photovoltaïque pour alimenter un habitat dans la wilaya d'Ouargla ».Mémoire de Master en énergie renouvelable, Université Kasdi merbah – Ouargla2015 page.10.30.

[6] MECHALIKH Med Nadjib, HAMADA Charaf Eddine**«** Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau ».Mémoire de Master en Machine électrique et électronique de puissance, Université Kasdi merbah – Ouargla 2013 page.02.03.04.05.06.07.10

[7]**«** Gisement solaire et transferts énergétiques ».Master en Energies Renouvelables, Université de CERGY-PONTOISE 2011 page.03.

[8] MOUHOUS-Chaouchi**«** Etude statistique du rayonnement solaire sur un planincliné».Master en Energies Renouvelables, Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen 2012 page.17.

[9] TOUIL Nacer Eddine, GHENBAZI Slimane **«** Modélisation et Simulation d'un Système Photovoltaïque ».Mémoire de Master Réseaux Électriques, Université Echahid Hama Lakhder d'El-Oued 2015 page .04.10.11.35.36.

[10] TEBBOUB Bilal **«**Caractérisation de panneaux solaires photovoltaïques en conditions réelles d'implantation et en fonction des différentes technologies». Mémoire de Doctorat, Université de Paris Sud 2014 page.10.68.75.

[11] ZOUAK Belacem**«**Etude de l'évolution des caractéristiques des matériaux thermoélectriques des anciennes et nouvelles générations et applications photovoltaïque-thermoélectricité ». Mémoire de Magister en Electronique, Université deMouloud Mammeri de Tizi-Ouzou2012 page.52.

[12] DJALOUD Fathi, BENSEDDIK Othmane « Etude et optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque ». Mémoire de Master en Automatique, Université deKasdi merbah – Ouargla 2012 page.08.10.20.39

[13] BENCHERIF Mohammed «Modélisation de systèmes énergétiques photovoltaïques et éoliens intégration dans un système hybride basse tension ». Mémoire de doctorat en physique énergétique, Université Abou-Bekr belkaid Tlemcenpage.page.09.10

[14] FEDDAOUI Omar«Contribution à l'Etude des Systèmes Hybrides de Génération : Application aux Energies Renouvelables». Mémoire de Magister en Electrotechnique, Université de Mohamed Chérif Messaadia de Souk-Ahras2014 page.59.62.65.

[15] SEMAOUISmaïl«Etude de l'électrification d'un village avec de l'énergie solaire photovoltaïque». Mémoire de Magister en physique énergétique, Université de Ouargla 2003 page.03.08.04.05.67.

[16] MEZIANI Fariza,« Détermination du gisement solaire par traitement d'images MSG». Mémoire de Magister en électronique, Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. page 15.65

[17] MECHALIKH Med Nadjib,HAMADA Charaf Eddine, «Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau». Mémoire de Master en génie électrique, Université deKasdi merbah – Ouargla2013 page.12.37.39.32

[18] ROYER Jimmy « Le Pompage photovoltaïque ». Mémoire de Doctorat, Université de d'Ottawa page.22.23.27.34.38

[19]YACINE Fouad «étude des nouvelles générations de cellules Photovoltaïques». Mémoire de Doctorat, Université de Paris Sud 2014 page.15.22.23

[20] ABBASEN Lyes « Etude de la connexion au réseau électrique d'une centrale photovoltaïque », Mémoire Magister en électrotechnique, Université de Tizi-Ouzou 2011 page.38.

[21] KHOUALED Karim, « Techniques de commande d'un système photovoltaïque connecté au réseau utilisant deux contrôleurs MPPT», Mémoire de Master en électrotechnique, Université de Médéa 2016 page 36.39.

[22] JIAQI Wang, « Solar Power System Mödling and Performance Analysais », Mémoire de Master en science, Université de Denver 2011 page 46

[23] BELHADJ Mohammed, «Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque Autonome», Mémoire de Magister en microélectronique -photovoltaïque, Université de Bechar 2008 page 14

[24] BEKIACHE Halim, NASRI Nadjab , «logiciel de dimensionnement de systèmes a énergie solaires systèmes a énergie solaires systèmes a énergie solaires systèmes a énergie solaires», Mémoire d'ingénieure d'état en électronique, Université d'Abderrahmane MIRA de Bejaia 2007 page 10.

[25] YANN Riffonneau,«gestion des flux énergétiques dans un système photovoltaïque avec stockage connecte au réseau », MémoireDocteur en Génie électrique, Universitéde joseph Fourier 2009.

[26] http://www.photovoltaique-energie.fr/pvgis-logiciel-en-ligne-de-simulation.html

[27]MERMOUD André, WITTMER Bruno, «livre de PVsyst V 6.43.user's manual », Switzerland 2014.

[28] https://www.cder.dz/spip.php?article2222

[29] BUSQUET Séverine, «Etude d'un systeme autonome de production d'energie couplant un champ photovoltaique, un electrolyseur et une pile a combustible : realisation d'un banc d'essai et modelisation», Mémoire de Docteur de l'Ecole des Mines de Paris Spécialité "Energétique, 2003 page