

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE
ELECTRIQUE

N°:



DOMAINE : SCIENCES ET
TECHNOLOGIE
FILIERE : GENIE ELECTRIQUE
OPTION : ENERGIES
RENOUVELABLES EN
ELECTROTECHNIQUE

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par : MOUNIR KHALIL

LAHOUBI IMAD EDINNE

Intitulé

**Etude technico-économique d'un projet
d'approvisionnement en électricité solaire
photovoltaïque d'équipements publics locaux**

Soutenu devant le jury composé de :

Nom et prénom Enseignant

Université

Président

.....

Université

Rapporteur

.....

Université

Examineur

Année universitaire :2022 /2023

Remerciements

Avant tout ; je remercie Dieu de m'avoir aidé à finaliser mon travail.

- Nous remercions NOS Mères et NOS Pères pour tout ce qu'ils ont fait pour nous et pour leur fatigue et pour NOUS avoir soutenu dans NOS études.

Je tiens à adresser Mes remerciements à mon encadreur Dr. mohamed drif,

Mes remerciements aux enseignants qui ont contribué à ma formation.

Mes remerciements à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à finaliser ce
mémoire

Remerciements	2
INTRODUCTION GENERALE	8
Chapitre I : Généralités sur l'énergie Solaire Photovoltaïque	9
I.1. Introduction	10
I.2. Définition d'énergie solaire	10
I.3. Historique sur l'énergie solaire photovoltaïque	10
I.4. Les avantages et les inconvénients l'énergie solaire PV	10
I.4.1. Les avantages de l'énergie solaire photovoltaïque.....	10
I.4.2. Les inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque.....	11
I.5. Variation de l'énergie solaire	11
I.5.1. Effet de la nébulosité	11
I.5.2. Effet lié aux saisons.....	12
I.5.3. Hauteur maximale du soleil à midi vrai.....	14
I.6. Le rayonnement solaire :	14
I.6.1. Les différents types du rayonnement solaire :	14
I.7. L'énergie solaire photovoltaïque	17
I.8. Cellule solaire photovoltaïque	17
I.8.1. Description de la cellule photovoltaïque	17
I.8.2. Structure d'une cellule photovoltaïque	18
I.8.3. Le principe de fonctionnement de cellule photovoltaïque	18
I.8.4. Les types de cellules photovoltaïques	19
I.9. Le module photovoltaïque :	21
I.9.1. Constitution d'un module de photovoltaïque.....	21
I.9.2. Association en série et en parallèle des modules PV	22
I.9.3. La Protection du module PV	23
I.10. Modélisation d'une cellule photovoltaïque	24
I.10.1. Modèle à une diode.....	24
I.10.2. Modèle à deux diodes	25
I.11. Les Paramètres des cellules photovoltaïques :	26
I.11.1. Courant de court-circuit, (ICC) :.....	26
I.11.2. Tension à circuit ouvert, (VCO) :.....	27
I.11.3. Puissance maximale (Pmax) :.....	27
I.11.4. Facteur de qualité (FQ) :.....	28
I.11.5. Facteur de forme (FF) :	28
I.11.6. Rendement d'une cellule solaire (η_c) :	29
I.12. Caractéristiques du module photovoltaïque	29
I.12.1. Caractéristiques courant-tension	29
I.12.2. Zones de fonctionnement du module photovoltaïque.....	29
I.13. L'influence de l'éclairement et de température	30
I.13.1. L'influence de l'éclairement	30
I.13.2. Influence de la température.....	31
I.14. Les différents défauts des systèmes photovoltaïques :	31

Sommaire

I.14.1.	Défaut de mismatch et d'ombrage :	32
I.14.2.	Défaut de diodes de Bypass	33
I.14.3.	Default de module	35
I.14.4.	Default de connectique	36
I.14.5.	Défaut de diode anti-retour	37
I.15.	Conclusion.....	39
Chapitre II : Dimensionnement d'un système photovoltaïque		40
II.1.	Introduction	41
II.2.	Étapes essentielles du dimensionnement d'un système photovoltaïque	41
II.2.1.	La première étape du processus de dimensionnement	41
II.2.2.	Etape 02.....	43
II.2.3.	Les besoins énergétiques quotidiennes	43
II.2.4.	Etape 03.....	44
II.2.5.	Etape 04.....	45
II.2.6.	Etape 05.....	45
II.2.7.	Etape 06.....	46
II.2.8.	Etape 07.....	46
II.2.9.	Etape 08.....	46
II.3.	Application numérique pour le dimensionnement d'un système photovoltaïque.....	47
II.3.1.	Introduction au site	47
II.3.2.	Estimation des récepteurs	49
II.3.3.	Calcul de la puissance crête PC.....	49
II.3.4.	Dimensionnement de capacité des batteries	51
II.3.4.1.	Calcul le nombre de batterie (totale et série, parallèle).....	51
II.3.5.	Le choix de Régulateur	52
II.3.6.	Le choix d'onduleur	52
II.4.	Dimensionnement d'un système PV par logiciel PVsyst.....	52
II.4.1.	Définition logiciel PVsyst	52
II.4.2.	Premier contact avec PVsyst	52
II.4.3.	Application logiciel PVsyst.....	55
II.4.4.	Les pertes de système	64
II.5.	Conclusion.....	66
Chapitre III : RESULTAT DE SIMULATION		67
III.1.	Introduction	68
III.2.	Présentation des résultats	68
III.2.1.	Le module photovoltaïque utilisé :	70
III.2.2.	L'onduleur utilisé :	71
III.2.3.	Analyse détaillée de l'utilisation de l'énergie	72
III.3.	Rapport final du projet de centrale solaire photovoltaïque	74
III.3.1.	Rapport de logicielle.....	74
III.4.	Conclusion :	85
CONCLUSION GENERALE		86
Nomenclature		87
BIBLIOGRAPHIE.....		90
Annexe.....		92

Sommaire

Résumé : 102

Liste des figures

Figure I.1 : Rayonnement en fonction de la météo	12
Figure I.2 : Trajectoire annuelle et journalière du soleil (hémisphère nord)	13
Figure I.3 : Le mouvement de la Terre autour du Soleil	13
Figure I.4 : Hauteur maximale du soleil à midi vrai	14
Figure I.5 : Le rayonnement direct sur une surface inclinée	15
Figure I.6 : Composantes du rayonnement solaire	17
Figure I.7 : Synoptique d'une cellule solaire	18
Figure I.8 : Création d'un courant électrique dans une cellule PV	19
Figure I.9 : formes des cellules solaires	19
Figure I.10 : Cellules monocristallines	20
Figure I.11 : Cellules Polycristallines	20
Figure I.12 : Cellule Photovoltaïque amorphe	21
Figure I.13 : Composition du module photovoltaïque	22
Figure I.14 : Mise en série des panneaux solaires	22
Figure I.15 : Mise en parallèle des panneaux solaires	23
Figure I.16 : Protection des modules Photovoltaïques	24
Figure I.17 : Schéma équivalent du modèle à une diode	25
Figure I.18 : Schéma équivalent du modèle à deux diodes	25
Figure I.19 : Caractéristiques (IV,PV) du module photovoltaïque	29
Figure I.20 : zones de fonctionnement du module photovoltaïque	30
Figure I.21 : Influence de l'éclairement solaire	31
Figure I.22 : Influence de la température	31
Figure I.23 : Influence de l'ombrage sur les caractéristiques (I-V) et (P-V)	33
Figure I.24 : Schéma équivalent du Défaut de diodes de by-pass	33
Figure I.25 : Schéma équivalent du Défaut de diodes de module	35
Figure I.26 : Schéma équivalent du Défaut de diodes de connectique	37
Figure I.27 : Schéma équivalent du Défaut de diodes d'anti-retour	37
Figure II.2 : Synoptique de La longitude	42
Figure II.3 : Présentation site de Bou Saada par site de web PVGIS	48
Figure II.5 : Schéma général d'une installation solaire autonome	52
Figure II.6 : Page principale de PVsyst 7.2.	53
Figure II.7 : Comment fonctionne le logiciel de PVsyst.	54
Figure II.8 : Tableau de bord de gestion de projet autonome avec batterie dans le logiciel PVsyst	55
Figure II.9 : Donnée les paramètres de site géographique	56
Figure II.10 : L'introduction d'information de l'inclinaison dans logiciel PVsyst	57
Figure II.11 : Consommation d'énergie par jour	57
Figure II.12 : Boîte de dialogue de définition du système de réseau lors de la sélection du module PV.	58
Figure II.13 : Boîte de dialogue de définition du système lors de la sélection.	59
Figure II.14 : Configuration du pack de batterie	60
Figure II.15 : Résumé des entrées de système (besoins utilitaires, champ PV, régulateur, pack de batterie)	60
Figure II.16 : Données générales du régulateur choisi dans le logiciel PVsyst.	61
Figure II.17 : Caractéristiques MPPT du régulateur choisi.	62
Figure II.18 : Schéma de system PV et choix de régulateur et convertisseur	63
Figure II.19 : Définition d'ombrages proches	64
Figure III.1 : Simulation de structure de ecole primaire messoudi bounab par PVsyst.	68
Figure III.2 : Trajectoire de soleille avec perte d'ombrage.	69
Figure III.3 : Diagramme des pertes d'énergie de la production sur année.	70
Figure III.4 : Production normalisée du système photovoltaïque dans les résultats de simulation PVsyst	73
Figure III.5 : Production d'énergie effective en sortie du champ photovoltaïque	73

Liste des Tableau

Tableau II.1 : Estimation des récepteurs	43
Tableau II.2 : Sélection de tension de système	44
Tableau II.3 : Sélection des appareils de protection	47
Tableau II.4 : Présentation de site	48
Tableau II.5 : Températures moyenne	48
Tableau II.6 : Irradiation moyenne	49
Tableau II.7 : Consommation énergie journalier par ecole primaire messoudi bounab	49
Tableau II.8 : Caractéristiques de module utiliser	50
Tableau II.9 : Caractéristiques de batterie utiliser	51
Tableau III.1 : Caractéristique électrique de module PV.	71
Tableau III.2 : Caractéristique mécanique de module PV.	71
Tableau III.3 : Caractéristique des onduleurs utilisés en installation PV.	71
Tableau III.4 : Production et utilisation mensuelle de l'énergie	72
Tableau III.5 : Bilan et résultat principaux de l'énergie mensuelle.	74

INTRODUCTION GENERALE

Ces dernières années, la demande d'énergie a considérablement augmenté en raison de la croissance de la population, de l'urbanisation et de l'industrialisation. Cependant, les sources d'énergie traditionnelles telles que les combustibles fossiles sont limitées et leur utilisation est responsable d'émissions de gaz à effet de serre qui ont un effet néfaste sur l'environnement. Cela a conduit à un intérêt croissant pour les sources d'énergie renouvelables, telles que l'énergie solaire, qui est abondante et largement disponible.

L'objectif de ce projet est de réaliser une étude de faisabilité technico-économique d'un projet d'énergie solaire photovoltaïque pour les équipements publics locaux. Le projet comprendra la conception, l'installation et l'exploitation d'un système solaire photovoltaïque qui produira de l'électricité destinée aux installations publiques de la région.

Ce projet évaluera la viabilité technique et économique de l'utilisation de l'énergie solaire comme source alternative d'électricité pour les équipements publics locaux. L'étude portera sur les aspects techniques de la conception et de l'installation du système solaire photovoltaïque, ainsi que sur les considérations économiques de la mise en œuvre d'un tel projet, y compris la rentabilité et la viabilité financière du projet.

En menant cette étude, nous espérons démontrer la faisabilité et les avantages potentiels de l'utilisation de l'énergie solaire pour les équipements publics locaux, ainsi que contribuer au développement de systèmes énergétiques durables et respectueux de l'environnement.

Chapitre I : Généralités sur l'énergie Solaire Photovoltaïque

I.1. Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque (PV) est une source d'énergie renouvelable et durable qui convertit directement la lumière du soleil en énergie électrique. Ce processus est réalisé grâce à l'utilisation de cellules solaires, qui sont constituées de matériaux semi-conducteurs tels que le silicium. Lorsque la lumière du soleil frappe une cellule solaire, elle excite les électrons dans le matériau semi-conducteur, créant un flux d'électricité.

Nous entamons ce chapitre en présentant les connaissances fondamentales relatives à la technologie photovoltaïque.

I.2. Définition d'énergie solaire

L'énergie solaire est une énergie renouvelable et durable qui provient du soleil. Elle peut être exploitée à l'aide de diverses technologies, notamment la conversion directe de la lumière du soleil en électricité à l'aide de cellules photovoltaïques ou la conversion de la chaleur solaire en électricité à l'aide de centrales solaires thermiques. L'énergie solaire est une source d'énergie propre, abondante et gratuite, offrant une alternative durable aux combustibles fossiles non renouvelables et aux sources d'énergie traditionnelles.[1][2]

I.3. Historique sur l'énergie solaire photovoltaïque

En 1838, Alexandre Edmond Becquerel, un scientifique français, découvrit l'effet photovoltaïque, marquant ainsi le début de l'histoire de l'énergie solaire photovoltaïque. En expérimentant une batterie électrolytique avec des électrodes de platine, il constata que l'exposition au soleil augmentait le courant électrique.

En 1873, l'ingénieur électricien anglais Willoughby Smith découvrit l'effet photovoltaïque dans les solides, en utilisant le sélénium. Quelques années plus tard, en 1877, le professeur de philosophie naturelle William Grylls Adams et son élève Richard Evans Day créèrent la première cellule photovoltaïque au sélénium, en exposant le matériau à la lumière pour produire de l'électricité.

En 1953, Calvin Fuller, Gerald Pearson et Daryl Chaplin découvrirent la cellule solaire en silicium, qui était suffisamment efficace pour alimenter de petits appareils électroniques. Ces cellules solaires étaient une avancée majeure dans l'histoire de l'énergie solaire.

Les premières cellules solaires commerciales ont été introduites en 1956, mais leur coût élevé a limité leur utilisation à des applications spécialisées, telles que les satellites. Ce n'est qu'à partir des années 1970 que les prix ont commencé à baisser de manière significative, rendant les cellules solaires plus accessibles pour un usage généralisé.[3]

I.4. Les avantages et les inconvénients l'énergie solaire PV

I.4.1. Les avantages de l'énergie solaire photovoltaïque

- ✓ L'énergie solaire a ses propres avantages en plus de tous les avantages des énergies

renouvelables. C'est une source d'énergie contrôlable et adaptable pour toutes les régions.

- ✓ Les investissements et les rendements à long terme sont prévisibles.
- ✓ Les systèmes solaires photovoltaïques sont simples et rapides à installer et nécessitent très peu d'entretien, ce qui entraîne des coûts d'entretien relativement faibles.
- ✓ La production d'électricité par panneaux solaires n'implique aucune pièce mobile ni combustion, il n'y a donc pas d'usure due au mouvement ou aux effets thermiques comme avec les chaudières.
- ✓ Les particuliers qui installent des panneaux solaires photovoltaïques pour produire de l'électricité peuvent contribuer à améliorer leur empreinte écologique en réduisant les émissions de CO₂ et en préservant les ressources naturelles.
- ✓ L'énergie solaire est une source d'électricité complètement silencieuse, ce qui n'est pas le cas, par exemple, des éoliennes... [4]

I.4.2. Les inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque

- ✓ Le coût des panneaux solaires est excessivement élevé en raison du haut niveau de technologie qu'ils nécessitent.
- ✓ Le rendement en courant des cellules photovoltaïques reste assez faible (de l'ordre de 10% pour le grand public), et ne délivre donc qu'une faible puissance de sortie. Par conséquent, une grande surface de panneaux photovoltaïques est nécessaire pour couvrir les besoins énergétiques d'une famille.
- ✓ L'efficacité maximale d'un panneau solaire n'est obtenue que lorsque la surface du panneau est strictement perpendiculaire aux rayons solaires. Idéalement, la position du panneau devrait varier selon les saisons et tout au long de la journée, ce qui est quasiment impossible à réaliser.
- ✓ Le stockage de l'électricité demeure un défi de taille avec les technologies actuelles, en particulier dans les zones éloignées qui ne sont pas connectées au réseau électrique (problème contourné lors du raccordement au réseau EDF).
- ✓ Le recyclage des cellules photovoltaïques représente un défi environnemental important en raison des métaux contenus dans les batteries utilisées dans les systèmes photovoltaïques. Le plomb, le zinc et le cadmium sont considérés comme des polluants environnementaux qui peuvent contaminer le sol et les eaux souterraines lorsqu'ils sont mis au rebut. [4]

I.5. Variation de l'énergie solaire

I.5.1. Effet de la nébulosité

Dans le domaine de la météorologie, un nuage est un ensemble visible de gouttelettes d'eau (et parfois de cristaux de glace, d'aérosols chimiques ou de minéraux) en suspension dans l'atmosphère.

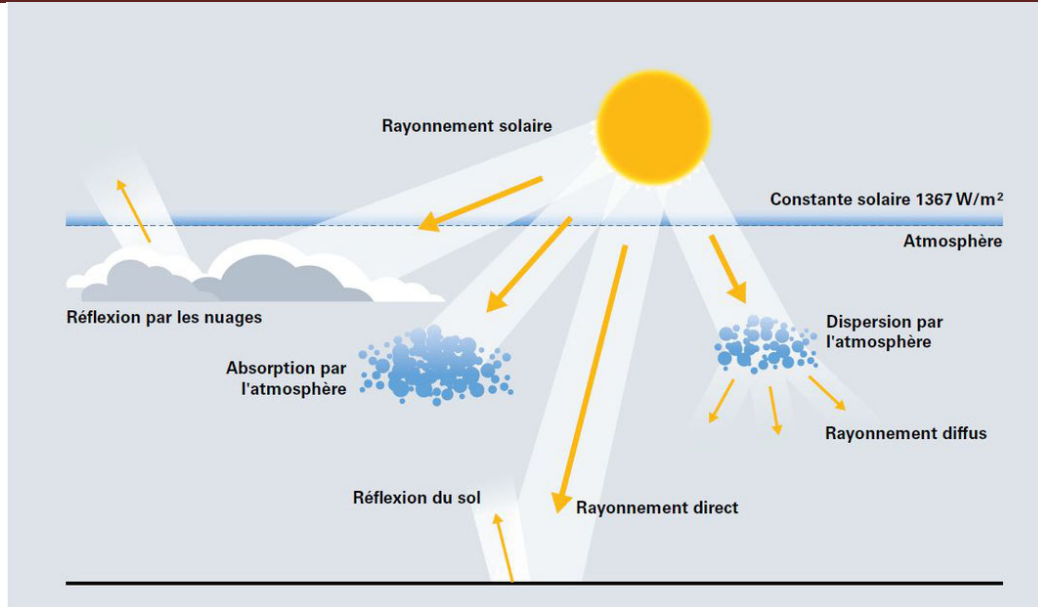


Figure I.1 : Rayonnement en fonction de la météo

À la surface d'une planète, l'apparence d'un nuage est déterminée par la lumière qu'il reçoit et la nature, la taille, le nombre et la distribution des particules qu'il contient, qui peuvent inclure des gouttelettes d'eau, des cristaux de glace, des aérosols chimiques ou des minéraux. Les gouttelettes nuageuses se forment lorsque la vapeur d'eau dans l'air se condense. La quantité maximale de vapeur d'eau qui peut être contenue dans une masse d'air dépend de la température ; l'air plus chaud peut contenir plus de vapeur d'eau que l'air plus frais.[5]

I.5.2. Effet lié aux saisons

Une saison est une période de l'année caractérisée par un climat et une température relativement constante. Astronomiquement parlant, une saison correspond à l'intervalle de temps pendant lequel la Terre occupe une portion de l'espace dans sa révolution (rotation) autour du Soleil. L'inclinaison des pôles combinée à la révolution de la Terre autour du Soleil provoque un cycle saisonnier dû au changement d'orientation par rapport au rayonnement solaire. Les saisons correspondent aux périodes qui séparent le passage de la Terre par certains points de son orbite, ou à l'inverse, le passage du Soleil par certains points de la sphère céleste, que la mécanique céleste désigne comme les équinoxes et les solstices. En conséquence, à tout moment, les saisons astronomiques des hémisphères nord et sud sont diamétralement opposées.

[6]

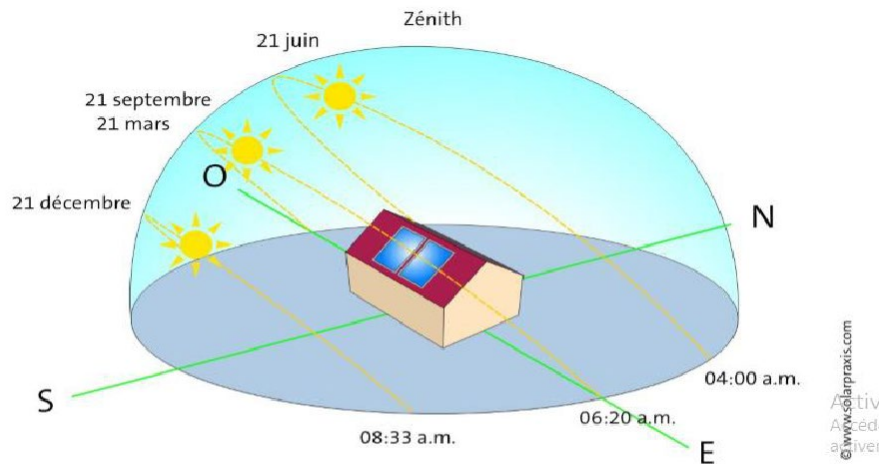


Figure I.2 : Trajectoire annuelle et journalière du soleil (hémisphère nord)

La quantité d'énergie reçue du soleil varie tout au long de l'année en raison de facteurs tels que la clarté de l'atmosphère (rayonnement direct) ou la présence de nuages, ainsi que la proximité ou la distance de la surface [7].

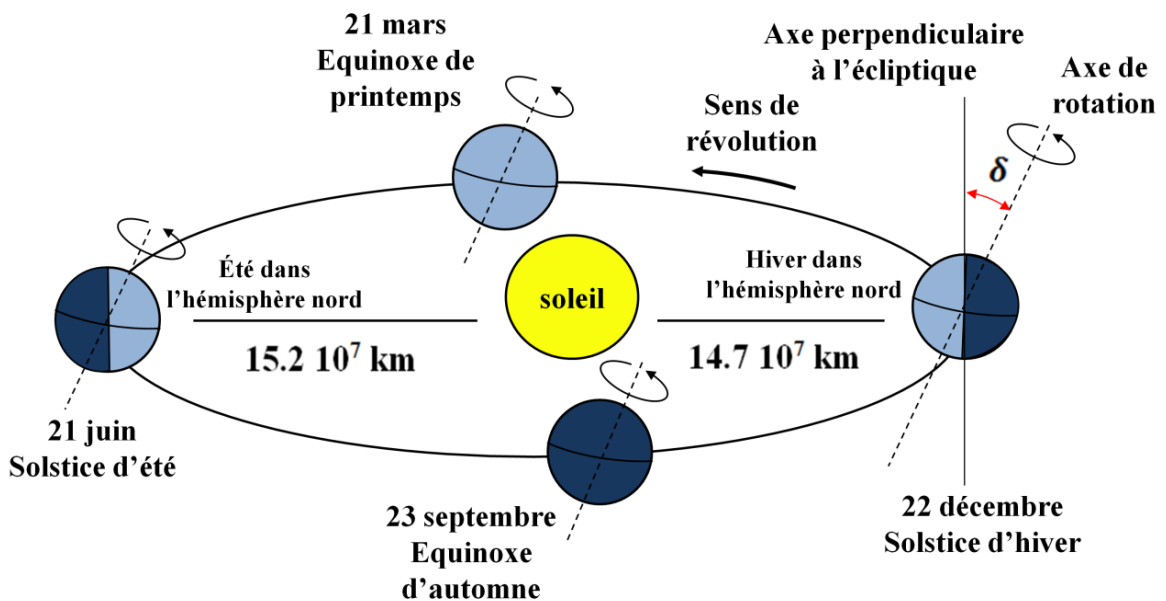


Figure I.3 : Le mouvement de la Terre autour du Soleil

La terre tourne autour du soleil en décrivant une ellipse de faible excentricité (Période : 365 jours et $\frac{1}{4}$)

Déclinaison solaire δ : angle entre la direction Terre- Soleil et le plan équatorial [7]

I.5.3. Hauteur maximale du soleil à midi vrai

En astronomie, la hauteur du Soleil est souvent appelée longueur, mais elle fait en fait référence à l'angle entre la direction de la ligne de visée du Soleil et le plan horizontal.

Le Soleil se lève toujours à l'est et se couche à l'ouest, à la fois dans les hémisphères sud et nord. Cependant, la différence réside dans le fait que lorsqu'il est midi dans l'hémisphère nord, le Soleil est vers le sud, alors que lorsqu'il est midi dans l'hémisphère sud, le Soleil est vers le nord.[8]

H_{\max} : hauteur du soleil à midi vrai

φ : latitude du lieu

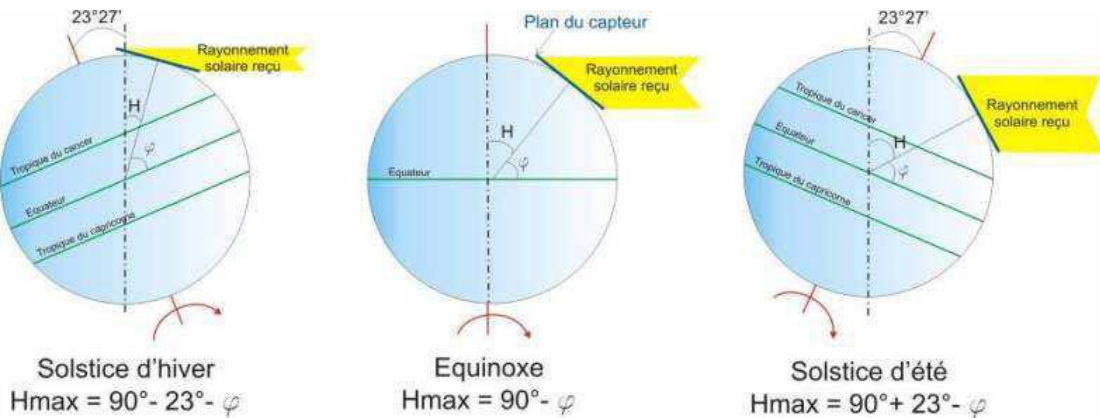


Figure I.4 : Hauteur maximale du soleil à midi vrai

I.6. Le rayonnement solaire :

L'énergie solaire est produite par des réactions de fusion thermonucléaires, où plusieurs noyaux atomiques légers (4 noyaux d'hydrogène) fusionnent pour former un noyau d'hélium. Le rayonnement solaire peut être décomposé en trois éléments : le rayonnement direct, le rayonnement diffus et l'albédo. La proportion de ces éléments varie en fonction du lieu et du moment de la journée. Le rayonnement direct est la partie du rayonnement solaire qui atteint directement la surface de la Terre, tandis que le rayonnement diffus est la partie qui est diffusée par l'atmosphère. L'albédo représente la proportion du rayonnement solaire réfléchi par la surface terrestre. Enfin, le rayonnement global est la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus.[9][2]

I.6.1. Les différents types du rayonnement solaire :

I.6.1.1. LE RAYONNEMENT DIRECT :

C'est la fraction du rayonnement solaire qui arrive directement au sol, dont le trajet est « linéaire » (il y a, en fait, de légères déviations) et unique à un instant donné.[9]

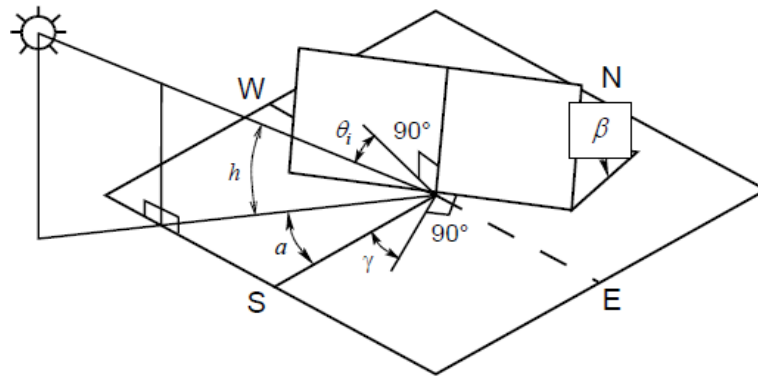


Figure I.5 : Le rayonnement direct sur une surface inclinée

L'angle d'incidence (θ_i) est l'angle formé entre les rayons du soleil et la normale à la surface du plan incliné. Il dépend de la position de la sole dans le ciel, du fait de l'inclinaison (β) et de l'orientation ou azimut (γ) du plan incliné. Plus précisément, l'angle d'incidence peut être calculé en fonction de la hauteur (h) et de l'azimut (α) du soleil, ainsi que de l'inclinaison (β) et de l'azimut (γ) du plan incliné, selon la relation suivante [9][2] :

$$\theta_i = \cos^{-1}[\cos(h) \times \cos(\alpha - \gamma) \times \sin(\beta) + \sin(h) \times \cos(\beta)] \quad (I.01)$$

Lorsque l'angle d'incidence est nul ($\theta_i = 0$), on parle d'incidence normale, ce qui correspond à une situation où les rayons du soleil tombent perpendiculairement à la surface du plan incliné. Dans ce cas, l'énergie solaire incidente est maximale et peut être exploitée de manière optimale.

L'éclairement dû au rayonnement direct sur un plan d'inclinaison et d'orientation quelconque est donné par l'équation suivante : [11]

$$I_b(\beta) = I_b R_b \quad (I.02)$$

$$R = \max \left[0, \frac{\cos(\theta_i)}{\sin h} \right] \quad (I.03)$$

$$I_b(\beta) = I_{bn} \cos(\theta_i) \quad (I.04)$$

Avec (I_{bn}) est le rayonnement sur un plan normal et (θ_i) est l'angle d'incidence sur le plan considéré (Angle entre la normale à la surface et le rayon du soleil)

Et avec:

- θ_i : Angle d'incidence (deg)
- β : Inclinaison de la surface réceptrice (deg)
- γ : Angle azimutal du plan récepteur (deg)
- h : Hauteur du soleil (deg)
- α : Azimut du soleil (deg)

- $Ib(\beta)$: Rayonnement direct sur plan incliné (W/m²)
- Ib : Rayonnement direct sur plan horizontal (W/m²)
- Rb : Rapport entre le rayonnement direct sur un plan incliné à celui du plan Horizontal
- Ibn : Rayonnement direct sur un plan normal (W/m²)

I.6.1.2. Le rayonnement diffus :

Le rayonnement diffus est constitué de lumière diffusée par des molécules dans l'atmosphère. Ce phénomène de diffusion décompose un faisceau lumineux parallèle et l'envoie dans plusieurs directions [9]. C'est ce qui nous donne la "lumière du jour" qui nous permet de voir clairement même par temps couvert.

I.6.1.3. Le rayonnement dû à l'albédo ou réfléchi :

Le rayonnement résultant de l'albédo, ou rayonnement réfléchi, dépend de l'environnement du lieu [03]. Il se produit lorsque le rayonnement solaire direct est réfléchi par le sol, qui peut être particulièrement fort sur des surfaces claires et réfléchissantes telles que la neige ou les étendues d'eau. Ce rayonnement peut provoquer des coups de soleil en montagne ou à la plage sans qu'on s'en aperçoive. Le sol reçoit à la fois un rayonnement direct et diffus, et sa valeur d'albédo peut différer pour chaque type de rayonnement (ρb pour direct et ρd pour diffus). En supposant une réflexion isotrope, nous pouvons supposer que $\rho b = \rho d = \rho$. [9]

$$I_r(\beta) = \frac{1}{2} I \rho (1 - \cos(\beta)) \quad (I.05)$$

- $I_r(\beta)$: Rayonnement réfléchi sur plan incliné (W/m²)
- ρ : Valeur albédo du sol pour le rayonnement réfléchi
- ρb : Valeur albédo du sol pour le rayonnement direct
- ρd : Valeur albédo du sol pour le rayonnement diffus
- β : Inclinaison de la surface réceptrice (deg)
- I : Rayonnement reçu par la Terre (W/m²)

I.6.1.4. Le rayonnement global :

Le rayonnement global est l'énergie rayonnante totale du soleil qui atteint directement la surface de la Terre au cours d'une unité de temps précise. Il est la somme de trois types de rayonnement diffus, le rayonnement direct et l'albédo. [9] La figure 6 présente cette somme

$$IG(\beta) = Ib(\beta) + Id(\beta) + Ir(\beta) \quad (I.06)$$

Avec :

- $IG(\beta)$: Rayonnement Global sur plan incliné (W/m²)
- $Ib(\beta)$: Rayonnement direct sur plan incliné (W/m²)
- $Id(\beta)$: Rayonnement diffus sur plan incliné (W/m²)
- $Ir(\beta)$: Rayonnement réfléchi sur plan incliné (W/m²)

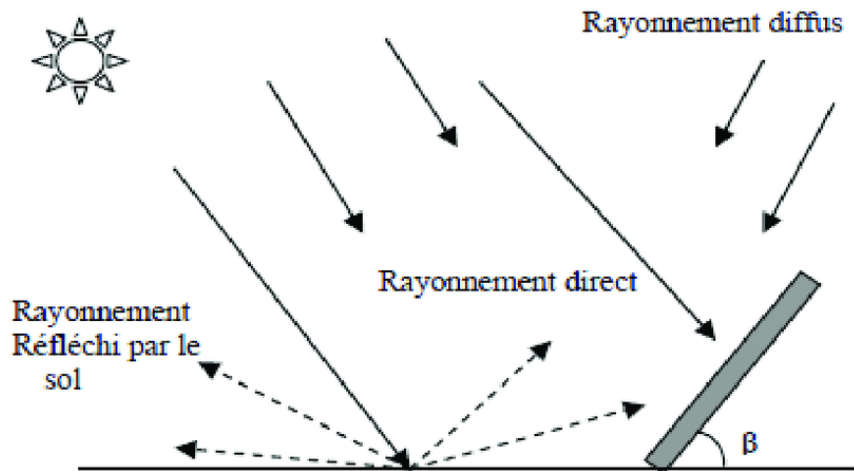


Figure I.6 : Composantes du rayonnement solaire

I.7. L'énergie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire, grâce à l'utilisation de la technologie photovoltaïque, permet de capter la lumière du soleil et de la transformer en électricité via des panneaux solaires installés sur les toits ou les façades des bâtiments. Ce procédé de conversion est connu sous le nom d'effet photovoltaïque, découvert pour la première fois par Antoine-César Becquerel en 1839. Il consiste à générer un courant lorsque la surface des panneaux est exposée à la lumière. Le terme « photovoltaïque » est dérivé du mot grec « photo », qui signifie lumière, et du physicien italien Alessandro Volta, dont le nom est l'unité de mesure du potentiel électrique (volt).

Le composant le plus essentiel d'un système photovoltaïque est la cellule, qui est l'unité fondamentale qui collecte le rayonnement solaire, et les modules qui rassemblent plusieurs cellules pour produire une puissance électrique plus élevée.[10][02]

I.8. Cellule solaire photovoltaïque

I.8.1. Description de la cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est la pierre angulaire de la technologie photovoltaïque. Lorsqu'elle est exposée à la lumière (photons), cette cellule convertit directement l'énergie lumineuse en énergie électrique grâce à l'effet photovoltaïque. La tension produite est proportionnelle à l'intensité de la lumière incidente. La cellule solaire peut délivrer une tension variable allant de 0V à 0,7V [11], selon les matériaux utilisés et la température de fonctionnement. Dans ce paragraphe, nous allons décrire la structure et le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.

I.8.2. Structure d'une cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est généralement constituée de plusieurs couches de matériaux, chacune ayant des fonctions spécifiques. Les couches sont :

- ✓ Couche de contact : cette couche est généralement en métal et est responsable de la conduction de l'électricité hors de la cellule.
- ✓ Revêtement antireflet : Cette couche réduit la réflexion de la lumière sur la surface de la cellule, ce qui permet d'absorber plus de lumière.
- ✓ Couche semi-conductrice de type N : Cette couche est dopée avec une impureté qui a un excès d'électrons, ce qui la rend chargée négativement.
- ✓ Couche semi-conductrice de type P : Cette couche est dopée avec une impureté qui a moins d'électrons, ce qui la rend chargée positivement.
- ✓ Couche de jonction ou d'appauvrissement : C'est l'interface entre les couches de type N et de type P où se produit l'effet photovoltaïque.[9]

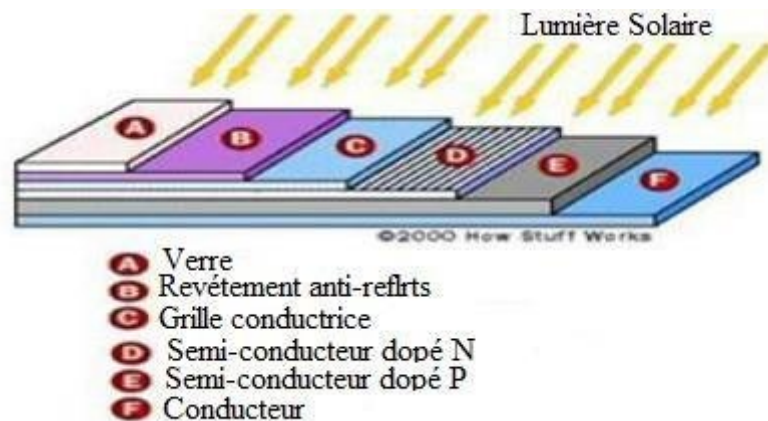


Figure I.7 : Synoptique d'une cellule solaire

I.8.3. Le principe de fonctionnement de cellule photovoltaïque

Le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque est basé sur l'effet photovoltaïque, qui est la conversion directe de l'énergie lumineuse en énergie électrique.

Lorsque la lumière frappe la cellule photovoltaïque, elle est absorbée par les couches de matériaux semi-conducteurs N et P. Cette absorption d'énergie permet aux électrons de se libérer de leur emplacement d'origine et de se déplacer vers la zone de jonction entre les deux couches semi-conductrices.

La zone de jonction entre les deux couches semi-conductrices est le cœur de la cellule photovoltaïque. Elle est conçue de telle manière que les électrons ne peuvent pas se déplacer

Chapitre I : Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque

librement à travers elle. Lorsque les électrons se déplacent vers cette zone, ils créent une différence de potentiel électrique, c'est-à-dire une tension, entre les deux couches semi-conductrices. Cette tension crée un champ électrique qui empêche les électrons de passer facilement à travers la zone de jonction.

- ✓ Les électrons qui se sont accumulés dans la zone de jonction peuvent être collectés par des contacts métalliques placés sur les deux couches semi-conductrices. Ces contacts permettent aux électrons de se déplacer hors de la cellule et de fournir de l'énergie électrique à un circuit externe.[11][9]

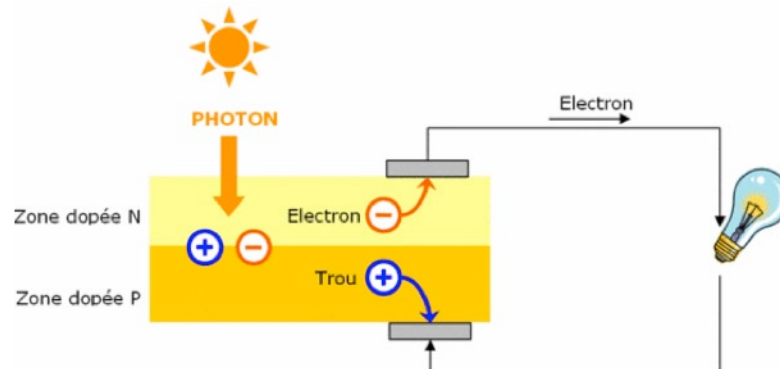


Figure I.8 : Création d'un courant électrique dans une cellule PV

I.8.4. Les types de cellules photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques en silicium cristallin sont les plus courantes [11]. Elles sont généralement fabriquées sous forme de plaquettes rondes, carrées ou pseudo-carrées. Le silicium est qualifié de cristallin car il possède une structure atomique régulière et ordonnée, comme un cristal.

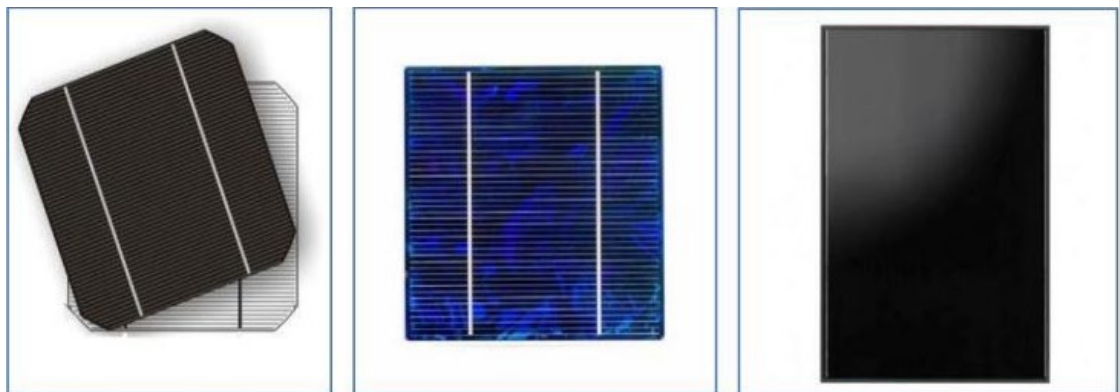


Figure I.9 : formes des cellules solaires

I.8.4.1. La cellule photovoltaïque en silicium monocristallin

Une cellule solaire en silicium monocristallin est une technologie courante et efficace utilisée pour produire de l'énergie solaire. Il est fabriqué en coupant de fines tranches de silicium cristallin pur, appelées tranches, qui sont ensuite traitées avec des dopants pour créer une

jonction p-n pour convertir la lumière du soleil en électricité. Les cellules solaires monocristallines ont un rendement élevé, une longue durée de vie et résistent aux conditions météorologiques difficiles, mais elles sont plus chères à produire que les autres types de cellules solaires.[10]



Figure I.10 : Cellules monocristallines

I.8.4.2. La cellule photovoltaïque en silicium Polycristallin

Une cellule solaire en silicium polycristallin est une autre technologie courante utilisée pour produire de l'énergie solaire. Il est fabriqué en versant du silicium fondu dans des moules et en le laissant refroidir et cristalliser. Les cellules solaires polycristallines ont un rendement légèrement inférieur à celui des cellules monocristallines, atteignant jusqu'à 18 %, mais elles sont moins chères à produire en raison de leur processus de fabrication plus simple. Cependant, ils ont une durée de vie légèrement plus courte et sont moins efficaces dans des conditions de faible luminosité par rapport aux cellules monocristallines. Dans l'ensemble, les cellules solaires polycristallines offrent un bon rapport qualité-prix pour les installations solaires résidentielles et commerciales.[10]

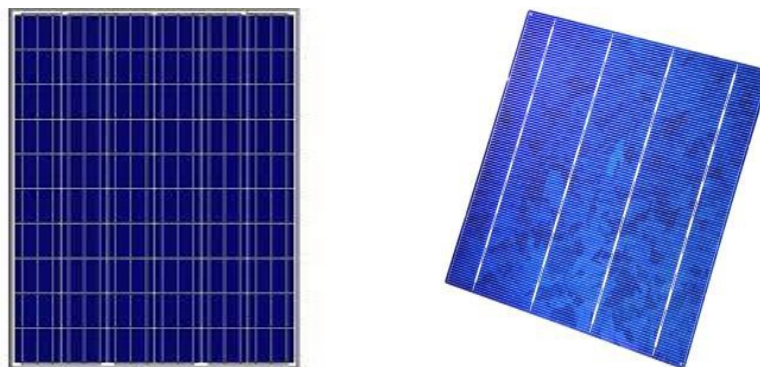


Figure I.11 : Cellules Polycristallines

I.8.4.3. La cellule au silicium Amorphe

La cellule solaire en silicium amorphe est une technologie qui utilise du silicium non

Chapitre I : Généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque

crystallin pour générer de l'électricité à partir de la lumière du soleil. Il est différent des cellules solaires monocristallines ou polycristallines, car il utilise un matériau semi-conducteur non cristallin qui peut être déposé sur un substrat en verre ou en plastique. Le processus de fabrication des cellules en silicium amorphe est relativement simple et économique, ce qui les rend abordables. Ils ne perdent pas leur efficacité de conversion à des températures élevées et peuvent être utilisés dans les régions chaudes et ensoleillées. Cependant, leur efficacité est plus faible, atteignant généralement entre 6% et 10%, et leur durée de vie est plus courte. Malgré ces inconvénients, ils sont utilisés dans des applications à surface limitée, comme dans les petits appareils électroniques ou les montres à énergie solaire. [10]

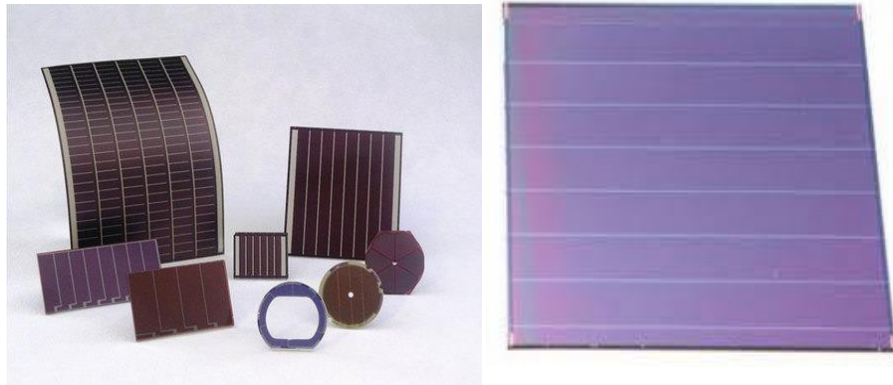


Figure I.12 : Cellule Photovoltaïque amorphe

I.9. Le module photovoltaïque :

I.9.1. Constitution d'un module de photovoltaïque

Le module photovoltaïque est composé de plusieurs éléments clés [11] :

- ✓ Un cadre en aluminium qui maintient les différents composants ensemble.
- ✓ Un joint pour fixer le module au système de montage.
- ✓ Une couche de verre qui protège les cellules photovoltaïques contre les conditions météorologiques défavorables telles que la pluie, la neige et les débris.
- ✓ Une couche d'EVA (éthylène-acétate de vinyle) qui résiste aux intempéries et à l'humidité et maintient les cellules en place.
- ✓ Les cellules photovoltaïques elles-mêmes qui sont au cœur du processus de conversion de l'énergie solaire en électricité.
- ✓ Une feuille de Tedlar blanc souvent utilisée pour renforcer la résistance mécanique des grands modules photovoltaïques en protégeant la couche d'EVA et les cellules photovoltaïques de l'humidité et des éléments extérieurs.[11]

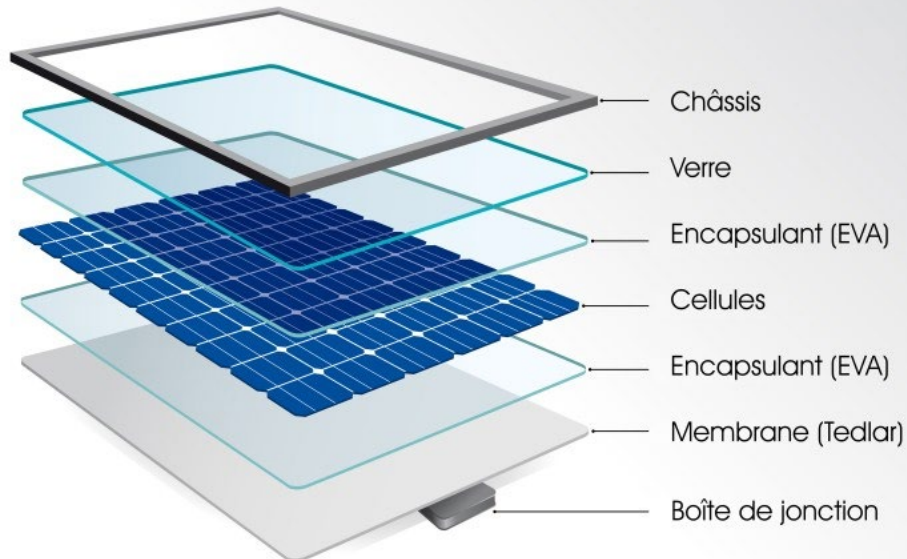


Figure I.13 : Composition du module photovoltaïque

I.9.2. Association en série et en parallèle des modules PV

Pour augmenter la tension et le courant de sortie, les modules solaires peuvent être connectés en série ou en parallèle pour construire un réseau photovoltaïque. Cependant, des précautions doivent être prises, car l'existence de cellules moins performantes ou l'ombrage d'une ou plusieurs cellules (due à la poussière ou à l'ombrage par exemple) peut endommager définitivement les cellules. [4]

I.9.2.1. Mise en série

Lorsque des cellules ou des modules identiques sont connectés en série, le courant dans le circuit reste le même, mais la tension augmente proportionnellement au nombre de cellules ou de modules connectés en série. [4]

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n \quad (I.07)$$

$$I = I_1 = I_2 = I_n \quad (I.08)$$

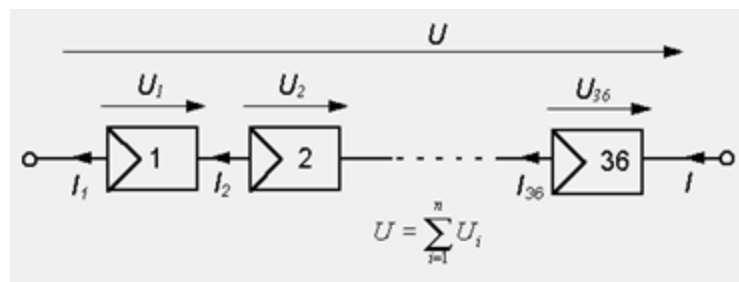


Figure I.14 : Mise en série des panneaux solaires

Avec : $U =$ tension totale de module PV

$U_1 =$ Tension de module PV nombre 1

$U_2 =$ Tension de module PV nombre

2 $U_n =$ tension de module PV nombre

n $I_1 =$ courant de module PV nombre

1 $I_2 =$ courant de module PV nombre

2 I_n courant de module PV nombre n

1.9.2.2. Mise en parallèle

Lorsque des modules ou cellules identiques sont connectés en parallèle, la tension du circuit est égale à la tension de chaque module, et le courant augmente proportionnellement au nombre de modules connectés en parallèle dans le circuit. [4]

$$U = U_1 = U_2 = U_3 \dots \dots \dots = U_n \quad (I.09)$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = I_n \quad (I.10)$$

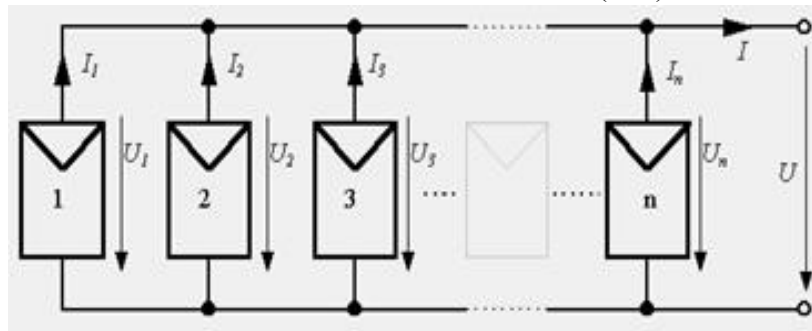


Figure I.15 : Mise en parallèle des panneaux solaires

Avec : $U =$ tension totale de module PV

$U_1 =$ Tension de module PV nombre 1

$U_2 =$ tension de module PV nombre 2

$U_3 =$ tension de module PV nombre 3

$U_n =$ tension de module PV nombre n

$I_1 =$ courant de module PV nombre 1

$I_2 =$ Courant de module PV nombre 2

$I_3 =$ Courant de module PV nombre 3

$I_n =$ Courant de module PV nombre n

1.9.3. La Protection du module PV

Pour assurer la production d'énergie électrique à long terme d'une installation photovoltaïque, il est crucial d'intégrer des protections électriques pour les modules. Cela permet d'éviter les défaillances destructives pouvant résulter des connexions en série et en

parallèle des cellules. Deux types de systèmes de protection couramment utilisés sont mis en œuvre à cet effet. [12][16]

I.9.3.1. La diode anti-retour

La diode anti-retour est utilisée pour empêcher le flux de courant négatif dans le système photovoltaïque lorsque plusieurs modules sont connectés en parallèle. C'est un élément crucial lorsque la charge est une batterie, car il empêche la batterie de se décharger dans le module photovoltaïque pendant la nuit.[16]

I.9.3.2. Les diodes by-pass

Utilisées pour protéger un groupe de cellules lorsque l'éclairage solaire n'est pas uniforme. Elles permettent d'éviter la surchauffe et la destruction des cellules mal éclairées en les isolant du reste de la chaîne.

Le schéma illustre la structure d'un panneau photovoltaïque avec des diodes de protection et met en évidence le passage du courant en cas de défaillance d'une cellule.[16]

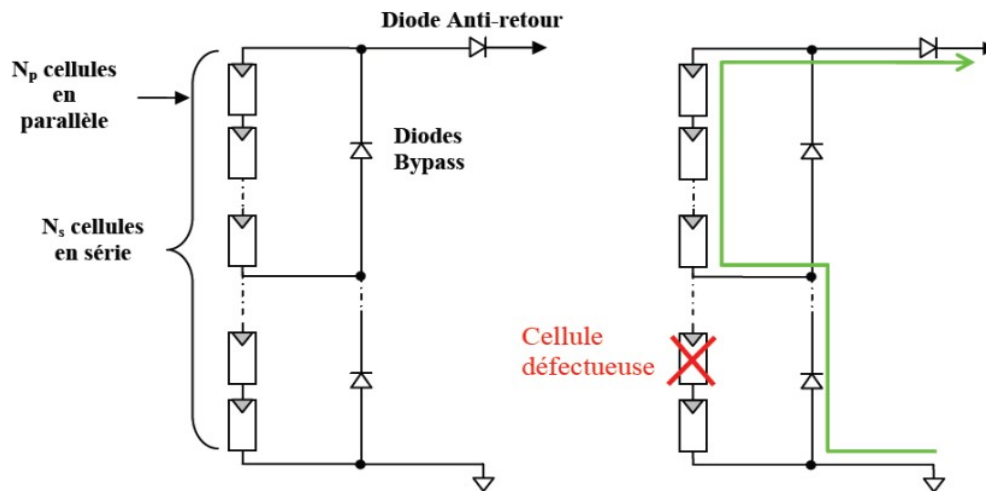


Figure I.16 : Protection des modules Photovoltaïques

I.10. Modélisation d'une cellule photovoltaïque

Pour élaborer un modèle équivalent d'une cellule photovoltaïque, il est essentiel de choisir judicieusement les circuits électriques qui le composent et de comprendre la configuration physique et les caractéristiques électriques des éléments de la cellule. Pour ce faire, plusieurs modèles mathématiques ont été développés pour représenter le comportement non linéaire des jonctions des semi-conducteurs. Dans ce contexte, nous présentons deux modèles de cellules photovoltaïques : le modèle à deux diodes et le modèle à une diode. [15]

I.10.1. Modèle à une diode

La cellule photovoltaïque est représentée par le modèle « standard » à une diode. Ce modèle comporte une diode comme le montre la figure suivante :

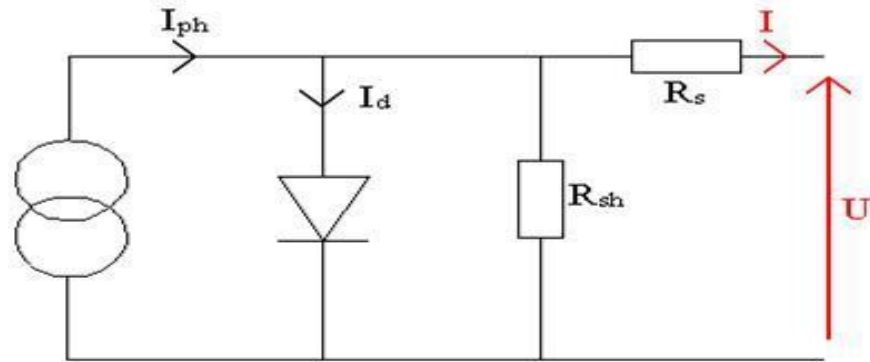


Figure I.17 : Schéma équivalent du modèle à une diode

L'expression du courant I devient alors :

$$I = I_{cc} - I_d \left[e^{q \left(\frac{V+I \times R_s}{n \times K T} \right)} - 1 \right] - \frac{V+I \times R_s}{R_p} \quad (I.11)$$

La résistance parallèle (R_p) est très grande par rapport à la résistance série (R_s), son effet est donc très faible de telle sorte que l'on peut la négliger. Ce modèle, est largement utilisé pour la modélisation.[12][16]

I.10.2.Modèle à deux diodes

Le modèle à deux diodes est un modèle de circuit équivalent qui est utilisé pour simuler les caractéristiques d'une cellule photovoltaïque. Ce modèle est principalement utilisé pour les cellules photovoltaïques à silicium cristallin et est basé sur l'hypothèse que la cellule photovoltaïque peut être modélisée comme deux diodes en série.[16]

Le schéma ci-dessous illustre le modèle électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque selon le modèle à deux diodes :

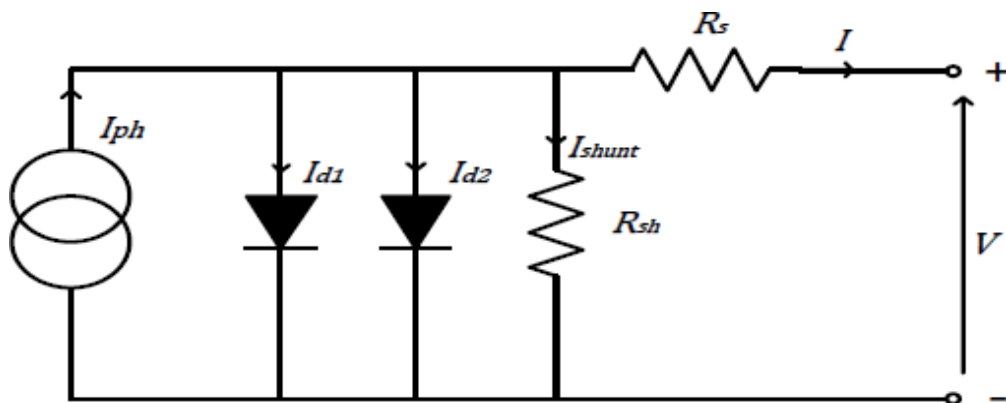


Figure I.18 : Schéma équivalent du modèle à deux diodes

Une source de courant est également ajoutée pour produire le courant de court-circuit de la cellule, qui dépend de l'éclairement solaire. La résistance série R_s est incluse pour tenir compte de la résistivité du matériau et du contact semi-conducteur-métal, et sa valeur peut être déterminée en prenant l'inverse de la pente de la caractéristique $I(V)$ pour la tension à circuit ouvert V_{co} . La résistance parallèle R_{sh} représente la présence d'un courant de fuite dans la jonction.[12]

Le courant I délivré par la cellule est donné par l'expression suivante :

$$I = I_{cc} - I_{d1} \left[e^{q \left(\frac{V+I \cdot R_s}{n_1 \cdot K T} \right)} - 1 \right] - I_{d2} \left[e^{q \left(\frac{V+I \cdot R_s}{n_2 \cdot K T} \right)} - 1 \right] - \frac{V+I \cdot R_s}{R_p} \quad (I.12)$$

$I_{cc}(A)$: le courant de court-circuit de la cellule dépendant de l'ensoleillement et de la température,

$I_{d1}(A)$: correspondant au courant de saturation de la diode1,

$I_{d2}(A)$: correspondant au courant de saturation de la diode2,

$K (1.381 \times 10^{-23} J/K)$: la constante de Boltzmann,

$T (K)$: la température effective de la cellule,

$q (1.602 \times 10^{-19} C)$: la charge de l'électron,

n_1 : le facteur de non idéalité de la jonction de la diode1,

n_2 : le facteur de non idéalité de la jonction de la diode2,

$I (A)$: le courant fourni par la cellule,

$V (V)$: la tension aux bornes de la cellule,

$R_p (\Omega)$: la résistance de shunt caractérisant les courants de fuites de la jonction,

$R_s (\Omega)$: la résistance série représentant les diverses résistances des contacts et de connexions.

I.11. Les Paramètres des cellules photovoltaïques :

Les caractéristiques courant-tension des cellules photovoltaïques fournissent plusieurs paramètres tels que $I_{CC}, V_{CO}, P_{max}, FQ, ff$ et η , qui permettent de comparer différentes cellules éclairées dans des conditions identiques. [14]

I.11.1.Courant de court-circuit, (ICC) :

C'est le courant obtenu en court-circuitant les bornes de la cellule (en prenant $V = 0$ dans le schéma équivalent). Sa valeur augmente linéairement avec l'intensité de la lumière incidente sur la cellule et dépend de la surface éclairée, de la longueur d'onde du rayonnement, de la mobilité des porteurs de charge et de la température [13]. On peut l'exprimer comme suit :

$$I_{cc}(V = 0) = I_{ph} \quad (I.13)$$

I.11.2. Tension à circuit ouvert, (VCO) :

Elle correspond à la tension maximale qu'une cellule photovoltaïque peut fournir lorsqu'elle est en circuit ouvert, c'est-à-dire lorsque le courant de la cellule est nul. La valeur de la tension à circuit ouvert est liée à la résistance shunt de la cellule, qui représente la résistance électrique qui court-circuite la cellule en l'absence de charge extérieure connectée. Cette tension diminue généralement avec l'augmentation de la température de la cellule et dépend de l'intensité de la lumière incidente sur la cellule.[13]

$$VOC = \frac{K * Tc}{q} \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_s} + 1 \right) \quad (I.14)$$

$\frac{K*Tc}{q}$: représente la potentielle thermodynamique ;

T_c : la température absolue ;

q : La constante de charge d'un électron= $1.602*10^{-19}$ C

; K : la constante de Boltzmann= $1.38*10^{-23}$;

I_{ph} : la photo courante ;

I_s : le courant de saturation inverse.

I.11.3. Puissance maximale (Pmax) :

La puissance maximale (P_{max}) d'une cellule photovoltaïque est la puissance électrique maximale qu'elle peut délivrer à un circuit extérieur sous irradiation solaire. Cette valeur dépend de la résistance de charge (la résistance externe connectée aux bornes de la cellule). La puissance maximale est atteinte à un point de fonctionnement spécifique, noté $P_{max}(I_{max}, V_{max})$, situé sur la courbe courant-tension de la cellule, pour des courants allant de 0 à ICC et des tensions allant de 0 à VCO. [14][16] La puissance délivrée par la cellule est alors donnée par le produit de la tension et du courant : $P_{max} = V_{max} \times I_{max}$.

$$P = V \left(I_{ph} - I_s \left[\exp \left(\frac{V}{AUT} \right) - 1 \right] \right) \quad (I.15)$$

Cette puissance fournie est maximale au point défini par :

$$\frac{\partial P}{\partial V} = \frac{\partial I}{\partial V} + I = 0 \quad (I.16)$$

Soit :

$$I_{ph} - I_s \left[\exp \left(\frac{V}{AUT} \right) - 1 \right] - V I_s \left(\frac{1}{AUT} \right) \exp \left(\frac{V}{AUT} \right) = 0 \quad (I.17)$$

La tension V_{max} et le courant I_{max} correspondant ou maximum de puissance, sont alors données par :

$$\left(1 + \frac{V_{max}}{A_{UT}}\right) \exp\left(\frac{V_{max}}{A_{UT}}\right) = 1 + \frac{I_{ph}}{I_s} \quad (I.18)$$

Donc :

$$I_{max} = I_s \left(\frac{V_{max}}{A_{UT}}\right) \exp\left(\frac{V_{max}}{A_{UT}}\right) \quad (I.19)$$

Le produit ($V_{max} \times I_{max}$) donne la puissance maximale qui représente 80% environ du produit ($V_{CO} \times I_{CC}$). [10]

I.11.4. Facteur de qualité (FQ) :

C'est un paramètre dépendant de la qualité de la diode. Il est compris entre 1 et 2.

I.11.5. Facteur de forme (FF) :

Le facteur de forme (FF), également appelé fill-factor, est un paramètre qui décrit l'efficacité de conversion d'une cellule photovoltaïque. Il correspond au rapport entre la valeur maximale de la puissance électrique qui peut être extraite de la cellule ($P_{max} = I_{max} \times V_{max}$) dans des conditions de mesure standardisées, et le produit de l'intensité de court-circuit (I_{CC}) et de la tension de circuit ouvert (V_{CO}), soit $I_{cc} \times V_{co}$. Le facteur de forme est compris entre 0 et 1, et sa valeur dépend de nombreux facteurs tels que la qualité des matériaux utilisés, la surface de la cellule, l'éclairement solaire, la température et la résistance de charge. [14]

$$ff = \frac{P_{max}}{V_{co} \cdot I_{cc}} \quad (I.20)$$

Pour une cellule de fabrication industrielle, le facteur de forme est de l'ordre de 70%.

I.11.6. Rendement d'une cellule solaire (η_c) :

Le rendement est donné par le rapport de la puissance électrique maximale générée à la puissance du rayonnement solaire incident [14]

$$\eta_c = \frac{V_{\max} \cdot I_{\max}}{P_{\text{solaire}}} \quad (\text{I. 21})$$

I.12. Caractéristiques du module photovoltaïque

I.12.1. Caractéristiques courant-tension

Les figures suivantes illustrent respectivement les caractéristiques courant-tension et de puissance dans les conditions standard ($G = 1000 \text{ W/m}^2$; $T = 25^\circ\text{C}$).

Caractéristiques (I , P) du module photovoltaïque

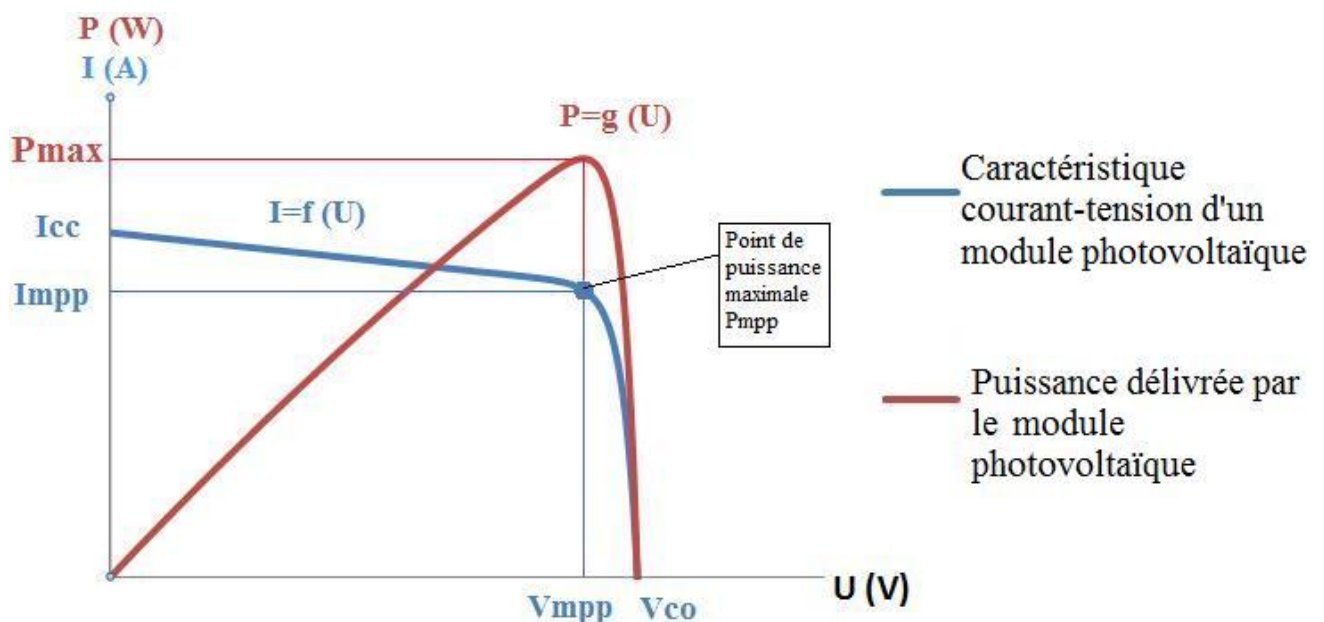


Figure I.19 : Caractéristiques (I , P) du module photovoltaïque

I.12.2. Zones de fonctionnement du module photovoltaïque

Les zones de fonctionnement d'un module photovoltaïque sont déterminées par ses caractéristiques électriques, qui varient en fonction de facteurs tels que la température, l'éclairement et les conditions de fonctionnement lorsqu'il est connecté à une charge donnée. Comprendre le comportement du générateur sous diverses contraintes est essentiel pour optimiser son fonctionnement. Dans ce paragraphe, nous rappelons brièvement ces notions afin de permettre une meilleure compréhension du comportement d'un générateur PV et de faciliter les optimisations de fonctionnement.



Figure I.20 : zones de fonctionnement du module photovoltaïque

Si les caractéristiques de chaque cellule (irradiation et température uniformes) sont équilibrées, la caractéristique d'un module photovoltaïque constitué de plusieurs cellules aura une allure générale similaire à celle d'une cellule élémentaire. La caractéristique $I(V)$ d'un générateur PV peut être décomposée en trois zones distinctes.

La zone 1 est assimilable à un générateur de courant I_{cc} proportionnel à l'irradiation, avec une admittance interne modélisable par $1/R_{sh}$.

La zone 2 ressemble à un générateur de tension U_{co} d'impédance interne équivalente à la résistance série R_s .

La zone 3 est caractérisée par une impédance interne du générateur qui varie considérablement entre R_{set} et R_{sh} .

Le point de fonctionnement pour lequel la puissance fournie par le générateur est maximale se trouve dans la zone 3. Ce point est appelé le point de puissance optimale, caractérisé par un couple (I_{max}, U_{max}) . Seule une charge dont la caractéristique passe par ce point peut extraire la puissance maximale disponible dans les conditions considérées. [17]

I.13. L'influence de l'éclairement et de température

I.13.1.L'influence de l'éclairement

La variation du courant en fonction de la tension pour différentes intensités lumineuses est représentée sur la figure ci-dessous, avec les maximums de puissance correspondants pour chaque cas. On constate que les points de fonctionnement à puissance maximale se déplacent peu et se situent autour d'une même valeur, tandis que le courant est directement proportionnel au rayonnement solaire.

En revanche, la tension subit une dégradation relativement faible. Cela suggère que le module est capable de fournir une tension correcte même lorsque l'éclairement est faible. [18]

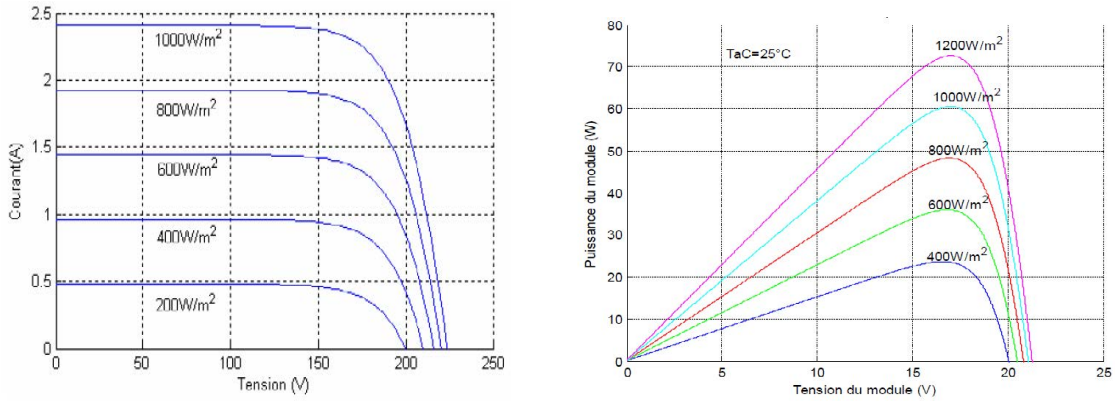


Figure I.21 : Influence de l'éclairement solaire

I.13.2. Influence de la température

La température est un facteur important qui influe sur le rendement d'une cellule photovoltaïque. Les expériences montrent que le courant de court-circuit varie peu en fonction de la température, tandis que la tension à vide est beaucoup plus affectée (environ -0,4% par degré Kelvin). Par conséquent, la température exerce une influence significative sur le rendement d'une cellule photovoltaïque, entraînant une perte de puissance d'environ 9 à 15% pour une augmentation de température de 30 degrés. [18]

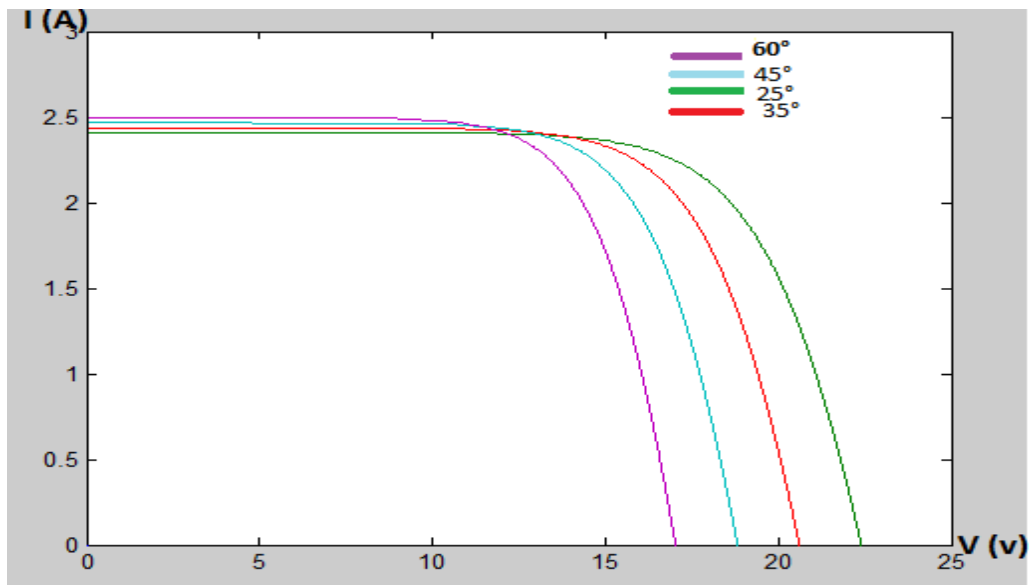


Figure I.22 : Influence de la température

I.14. Les différents défauts des systèmes photovoltaïques :

Comme pour tous les systèmes d'alimentation électrique, les systèmes d'énergie photovoltaïque peuvent présenter de nombreux défauts qui doivent être corrigés. Il existe cinq types courants de défauts dans les systèmes photovoltaïques :

- ✓ Défauts de mis match et d'ombrage, qui peuvent survenir lorsque des modules photovoltaïques ne sont pas correctement assortis ou que des parties du système sont ombragées, ce qui peut entraîner une diminution de la production d'énergie.
- ✓ Défauts de la diode de dérivation, qui se produisent lorsque la diode de dérivation du module photovoltaïque est défectueuse ou mal dimensionnée, ce qui peut provoquer une surchauffe et une diminution de la durée de vie du module.
- ✓ Défauts de module, qui peuvent être causés par des erreurs de fabrication ou des dommages physiques au module photovoltaïque, entraînant une baisse de la production d'énergie ou une défaillance totale du module.
- ✓ Défauts de connectique, qui peuvent survenir lorsque les connexions électriques ne sont pas correctement réalisées, entraînant une résistance accrue et une perte d'énergie.
- ✓ Défauts de la diode anti-retour, qui peuvent se produire lorsque la diode anti-retour est mal dimensionnée ou défectueuse, entraînant une surchauffe et une baisse de la durée de vie du système. [19] [16]

I.14.1. Défaut de mismatch et d'ombrage :

Les défauts de mismatch et d'ombrage sont parmi les causes les plus courantes de pannes au niveau des modules photovoltaïques. Cependant, il y a peu de recherches qui ont été menées jusqu'à présent sur la détection de ces pannes. L'ombrage peut être causé par des infrastructures, des éléments naturels comme des arbres ou des cheminées, ou encore des parties de la construction. Ces ombrages peuvent entraîner une réduction de la surface de la cellule, ce qui diminue la production d'énergie du module PV [16]. Bien que des recherches soient en cours pour améliorer les performances des systèmes photovoltaïques, il reste important de pouvoir détecter et corriger les défauts pour garantir un fonctionnement optimal.

Lorsqu'un module photovoltaïque est polarisé en inverse, il fonctionne comme une charge plutôt que comme un générateur, ce qui entraîne une réduction de la puissance de sortie et des points chauds appelés hot spots. Les hot spots peuvent provoquer l'apparition d'un circuit ouvert et endommager le module.

Le défaut de mismatch est causé par le groupement de cellules ayant des caractéristiques $I - V$ différentes. Toute modification d'un des paramètres de l'équation de courant (I_{pv}) entraîne une différence dans leurs caractéristiques. Le défaut d'ombrage est un cas particulier du défaut de mismatch, car sa présence entraîne une réduction de l'ensoleillement reçu par les cellules, ce qui peut entraîner une perte de

puissance. [19] [16]

Comme on peut le constater sur les figures ($I - V$) et ($P - V$) ci-dessous, plusieurs points optimums sont obtenus suivant le taux de l'ombrage sur le module considéré.

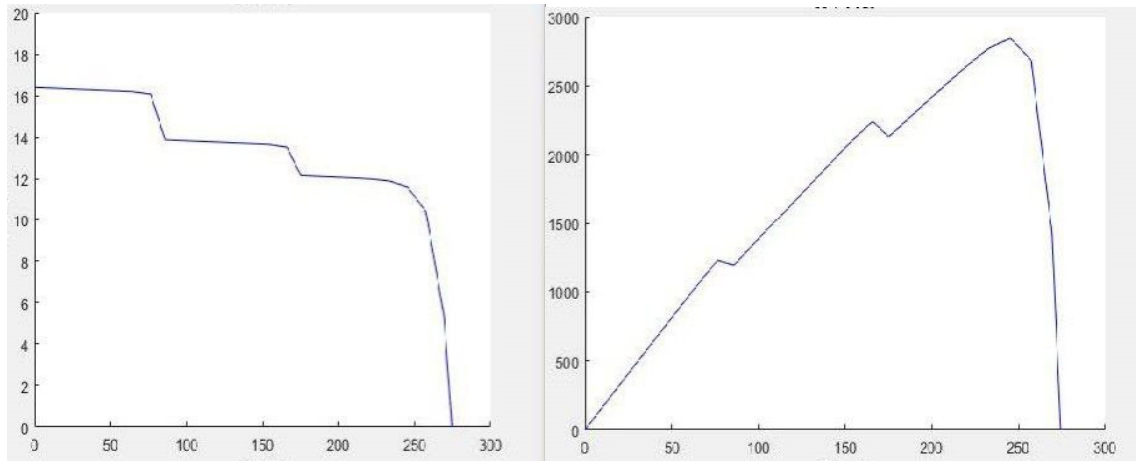


Figure I.23 : Influence de l'ombrage sur les caractéristiques ($I - V$) et ($P - V$)

I.14.2. Défaut de diodes de Bypass

Le rôle principal de la diode By-pass est de protéger les cellules d'une batterie en permettant le passage du courant lorsque la somme des tensions des cellules est négative et en étant bloquée dans le cas contraire. Cependant, lorsque la diode est défectueuse, elle ne peut plus assurer cette fonction de protection. Les défauts électriques les plus courants associés à cette diode sont le court-circuit, la déconnexion et l'inversion de la diode. En outre, la diode peut également se comporter comme une impédance d'une valeur quelconque ou être claquée en cours de fonctionnement. Pour mieux comprendre les conséquences d'une diode By-pass défectueuse, il est possible de remplacer cette diode par un élément qui peut prendre chacun des états défectueux de la diode, tels qu'un circuit ouvert, un court-circuit, une impédance quelconque ou une diode inversée, comme illustré dans la figure suivante. [19]

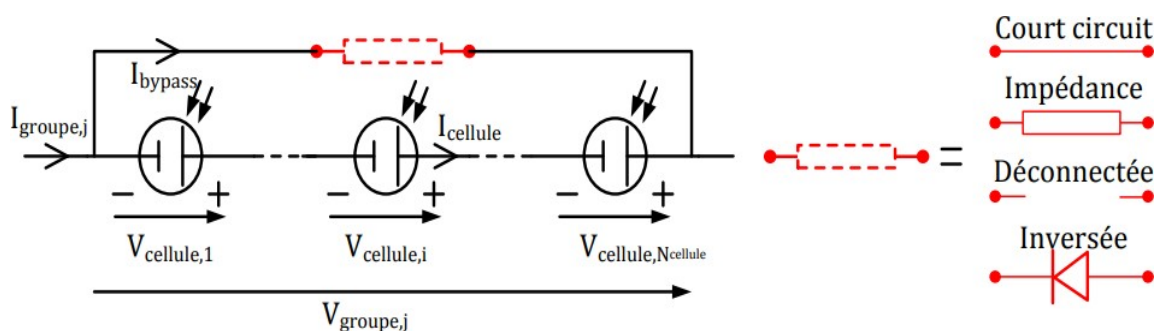


Figure I.24 : Schéma équivalent du Défaut de diodes de by-pass

I.14.2.1. Cas « court-circuit »

Lorsqu'un court-circuit survient dans un groupe de cellules, la tension de ce groupe est annulée. Le courant total du groupe de cellules est alors la somme du courant circulant dans les cellules et de celui qui circule dans le chemin court-circuit. Le courant circulant dans les cellules est limité par le courant maximum produit par les cellules, tandis que le chemin court-circuitant supporte le courant en excès. En d'autres termes, le court-circuit provoque une surintensité qui peut endommager les cellules si elle n'est pas rapidement détectée et corrigée. Il est donc essentiel de mettre en place des dispositifs de protection pour éviter les courts-circuits dans les groupes de cellules. [19]

$$V_{\text{groupe},j} = 0 \quad (I.22)$$

$$I_{\text{groupe}} = I_{\text{pybass}} + I_{\text{Cellule}} \quad (I.23)$$

I.14.2.2. Cas « impédance Z quelconque »

Dans le cas où une impédance quelconque se produit dans un groupe de cellules, la tension de ce groupe reste égale à la somme des tensions de toutes les cellules qui le composent. En revanche, le courant du groupe est la somme du courant qui circule dans le string de cellules et de celui qui circule dans l'impédance. L'impédance peut être de nature différente, telle qu'une résistance, une capacité ou une inductance, et sa valeur peut varier en fonction des conditions de fonctionnement du groupe de cellules. Cependant, l'impédance doit être maintenue à un niveau raisonnable pour garantir le bon fonctionnement des cellules et éviter toute surchauffe ou toute dégradation de la performance. Par conséquent, une surveillance continue de l'impédance est nécessaire pour détecter rapidement toute augmentation anormale de sa valeur et prendre les mesures appropriées pour éviter tout dysfonctionnement. [19]

$$V_{\text{groupe},j} = \sum_{i=1}^{n \text{ cellule}} V_{\text{Cellule},i} \quad (I.24)$$

$$I_{\text{groupe}} = I_{\text{Cellule}} + \frac{V_{\text{groupe},j}}{Z} \quad (I.25)$$

I.14.2.3. Cas « circuit ouvert »

La tension du groupe est égale à la somme des tensions des cellules qui le

composent. Le courant qui circule dans le groupe est égal au courant circulant dans le string de cellules. [19]

$$V_{\text{groupe},j} = \sum_{i=1}^{N_{\text{Cellule}}} V_{\text{Cellule},ii} \quad (I.26)$$

$$I_{\text{groupe}} = I_{\text{Cellule}} \quad (I.27)$$

I.14.2.4. Cas « inversion de la polarité »

La diode fonctionne de manière opposée à son fonctionnement normal : elle se met à conduire lorsque la somme des tensions des cellules qu'elle protège est négative, et se bloque lorsque cette somme est positive. Cela s'applique pour chaque cellule et pour le courant i .

$$\sum_{i=1}^{N_{\text{Cellule}}} V_{\text{Cellule},i} < 0 \quad \text{si} \quad V_{\text{groupe},j} = \sum_{i=1}^{N_{\text{Cellule}}} V_{\text{Cellule},ii} \quad (I.28)$$

$$\sum_{i=1}^{N_{\text{Cellule}}} V_{\text{Cellule},i} > 0 \quad \text{si} \quad V_{\text{groupe},j} = 0 \quad (I.29)$$

$$I_{\text{groupe}} = I_{\text{pybass}} + I_{\text{Cellule}} \quad (I.30)$$

I.14.3. Défaut de module

Le terme "défaut de module" désigne tous les problèmes électriques qui peuvent survenir lors de la connexion d'un module dans un string PV. Ces problèmes incluent un court-circuit dans le module, une connexion en parallèle avec une impédance, ainsi qu'une inversion de polarité du module. La Figure présente le schéma d'un module avec un élément représentant chacun de ces états défaillants de la connexion du module. [19]

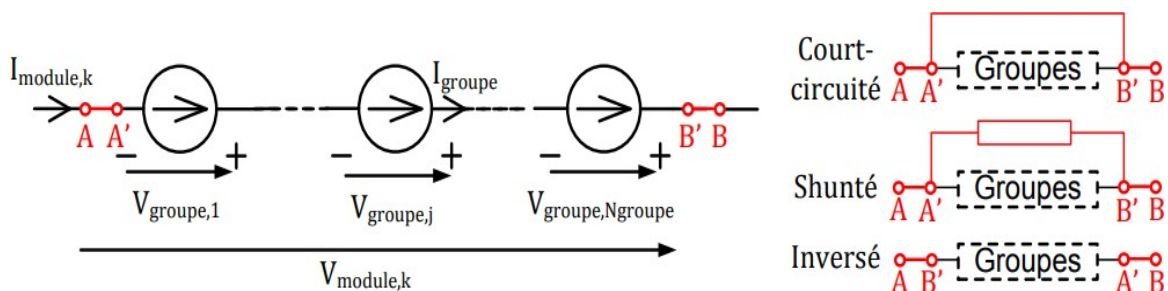


Figure I.25 : Schéma équivalent du Défaut de diodes de module

I.14.3.1. Cas « module court-circuité »

En cas de module court-circuité, la tension du module tombe à zéro. Le courant qui circule dans le module est la somme du courant qui circule dans les groupes de cellules ainsi que celui qui circule dans le chemin du court-circuit. Dans le string, le courant est égal au courant maximal produit par les cellules et le chemin court-circuité porte le courant excédentaire.

$$I_{module} = I_{shunt} + I_{groupe} \quad (I.31)$$

$$I_{module,k} = 0 \quad (I.32)$$

I.14.3.2. Cas « module connecté en parallèle avec une impédance »

En cas de module connecté en parallèle avec une impédance, la tension du module correspond à la somme de la tension de tous les groupes dans le module. Le courant qui circule dans le module est la somme du courant qui circule dans les groupes de cellules ainsi que celui qui circule dans l'impédance.

$$V_{module,k} = \sum_{j=1}^{N_{groupe}} V_{groupe,ji} \quad (I.33)$$

$$I_{module} = I_{groupe} + \frac{V_{module,k}}{Z} \quad (I.34)$$

I.14.3.3. Cas « inversion de la polarité d'un module »

En cas d'inversion de polarité d'un module dans le string PV, le courant qui traverse le module est opposé à celui du string. Dans cette situation, le module se comporte comme un récepteur avec une tension positive et un courant négatif.

$$I_{module} = -I_{groupe} \quad (I.35)$$

$$V_{module,k} = \sum_{j=1}^{N_{groupe}} V_{groupe,ji} \quad (I.36)$$

I.14.4. Default de connectique

Il existe plusieurs défauts courants associés aux systèmes photovoltaïques, parmi lesquels le défaut de connectique est particulièrement important. Ce défaut peut entraîner une augmentation de la résistance de la connexion entre deux modules PV, même si en temps normal, cette résistance est quasiment nulle. Les causes possibles de cette augmentation de la résistance incluent la corrosion de la connectique ou une vis mal serrée, entre autres. Dans les cas les plus graves, la résistance peut devenir infinie, ce qui signifie qu'un module est déconnecté du string PV. [16]

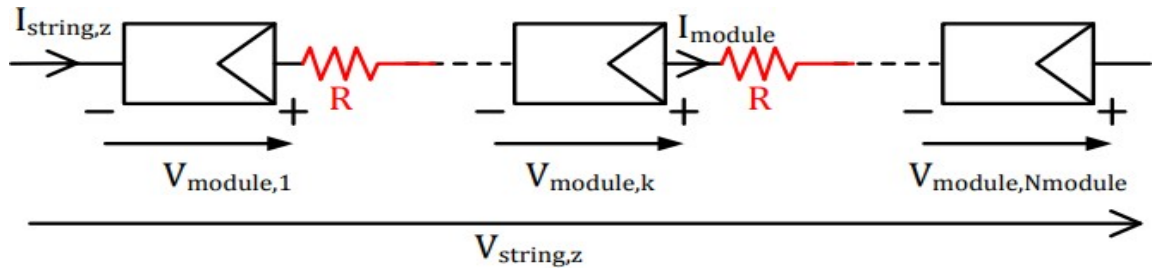


Figure I.26 : Schéma équivalent du Défaut de diodes de connectique

I.14.5. Défaut de diode anti-retour

Comme pour la diode de by-pass, on peut envisager 4 types de défauts pour la diode anti-retour : court-circuit, impédance quelconque, circuit ouvert et inversion de polarité. La Figure illustre un schéma d'un champ PV où la diode anti-retour est remplacée par un élément qui représente chacun des états défectueux possibles de la diode. [16]

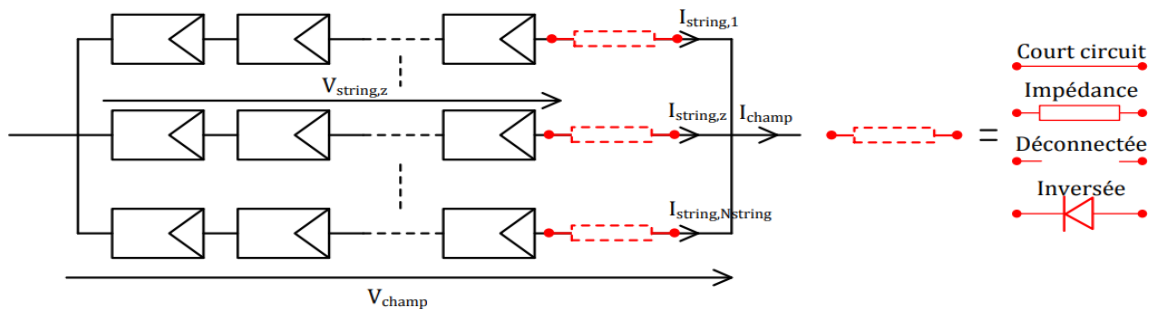


Figure I.27 : Schéma équivalent du Défaut de diodes d'anti-retour

I.14.5.1. Cas « court-circuit »

En cas de court-circuit, le courant du string peut circuler dans les deux sens possibles, selon la différence entre la tension du champ et celle qui peut être produite par le string. Dans le sens direct, le string fournit sa puissance produite à la charge. Cependant, dans le sens inverse, le string n'alimente plus la charge mais absorbe plutôt le courant produit par les autres strings.

$$V_{\text{champ}} = V_{\text{imposée}} \quad (\text{I.37})$$

$$I'_{\text{string},z} = \text{Interpolation}(V_{\text{champ}}, I_{\text{string},z}, V_{\text{string},z}) \quad (\text{I.38})$$

$$I_{\text{champ}} = \sum_{z=1}^{N_{\text{String}}} I'_{\text{string},zi} \quad (\text{I.39})$$

I.14.5.2. Cas « impédance Z quelconque »

Le même phénomène que dans le cas précédent se produit également en cas d'impédance quelconque. La seule différence est la valeur de la chute de tension due à l'impédance de la diode défailante.

$$V_{champ} = V_{imposée} \quad (I.40)$$

$$I'_{string, z} = Interpolation(V_{champ}, I_{string, z}, V_{string, z} - Z * I_{string, z}) \quad (I.41)$$

$$I_{champ} = \sum_{z=1}^{N_{string}} I'_{string, zi} \quad (I.42)$$

I.14.5.3. Cas « circuit ouvert »

Dans ce cas, la totalité du courant produit par le string est perdu.

$$V_{champ} = V_{imposée} \quad (I.43)$$

$$I'_{string, z} = Interpolation(V_{champ}, I_{string, z}, V_{string, z}) \quad (I.44)$$

$$I_{champ} = \sum_{z=1}^{N_{string}} I'_{string, zi} \quad (I.45)$$

Avec Si la diode est déconnectée($I'_{string, z} = 0$)i))

I.14.5.4. Cas « inversée »

Dans le cas d'une diode anti-retour inversée, celle-ci empêche le courant produit par le string qu'elle protège de circuler. En revanche, si la tension du string est inférieure à celle des autres strings, elle permet au courant provenant des autres strings de circuler dans le string qu'elle protège. [19]

$$V_{champ} = V_{imposée} \quad (I.46)$$

$$I'_{string, z} = Interpolation(V_{champ}, I_{string, z}, V_{string, z}) \quad (I.47)$$

$$I_{champ} = \sum_{z=1}^{N_{string}} I'_{string, zi} \quad (I.45)$$

Avec $I'_{string, zi} = 0$ Si $V_{string, z} > V_{champ}$

I.15. Conclusion

En conclusion de ce premier chapitre, nous avons présenté une introduction générale à la conversion photovoltaïque. Nous avons abordé différents aspects tels que la description de la conversion, les types de cellules photovoltaïques utilisées, les modélisations les plus couramment utilisées, ainsi que les principaux avantages de cette technologie. Ces connaissances fournissent une base solide pour une compréhension plus approfondie des applications pratiques de la conversion photovoltaïque dans les chapitres suivant

Chapitre II : Dimensionnement d'un système photovoltaïque

II.1. Introduction

Lorsque l'on conçoit un système photovoltaïque, il est crucial de trouver un juste équilibre entre la puissance des panneaux solaires et la capacité de la batterie associée, en fonction des besoins en électricité de l'utilisateur, ainsi que des conditions d'ensoleillement du site. L'objectif final est de choisir les composants avec une taille optimale pour garantir une alimentation électrique fiable toute l'année ou sur une durée spécifique.

II.2. Étapes essentielles du dimensionnement d'un système photovoltaïque

En général, la conception et le dimensionnement d'un système photovoltaïque nécessitent la prise en compte de plusieurs paramètres, notamment :

- ✓ L'emplacement du générateur PV (Le lieu où sera placé)
- ✓ Les composants du système PV (modules, régulateur, convertisseur et batteries).
- ✓ La charge électrique (consommation électrique).

Nous suivons un processus en plusieurs étapes pour dimensionner un système PV.

II.2.1. La première étape du processus de dimensionnement

II.2.1.1. Présentation de site

Dans cette partie, nous explorerons les aspects suivants : Caractéristiques géographiques et climatiques du site

La latitude :

La latitude est l'angle formé entre le plan équatorial et le vecteur reliant le centre de la Terre à un point donné. Elle représente la position nord ou sud de ce point par rapport à l'équateur. La latitude est mesurée en degrés, allant de 0° à $+90^\circ$ dans l'hémisphère nord et de 0° à -90° dans l'hémisphère sud.[20]

La longitude :

La longitude d'un lieu est l'angle formé par deux plans méridiens, l'un étant choisi comme référence (méridien de Greenwich à 0°) et l'autre étant déterminé par le lieu en question. Les méridiens à l'est de ce méridien sont positifs (+), tandis que ceux à l'ouest sont négatifs (-). La longitude d'un lieu est généralement exprimée entre -180° et $+180^\circ$, où chaque degré de longitude correspond à un écart de 4 minutes de temps.[20]

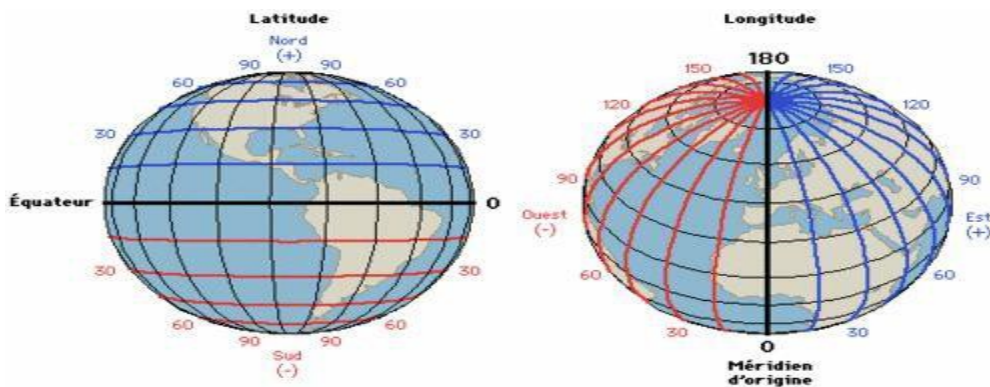


Figure II.1 : Synoptique des coordonnées géographiques : Latitude et longitude

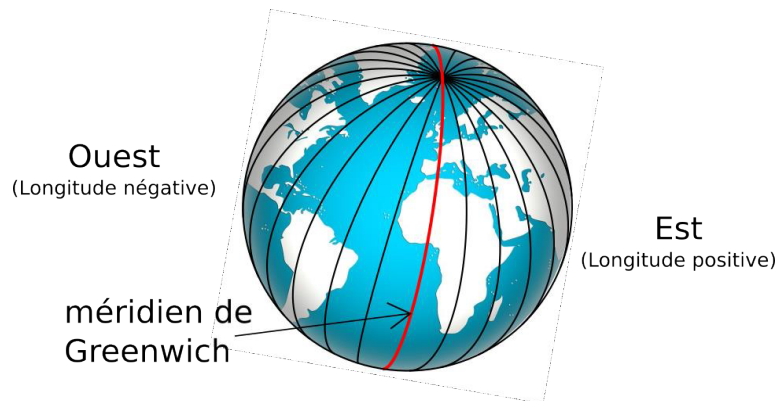


Figure II.1 : Synoptique de La longitude

L'Altitude :

L'altitude d'un point spécifique correspond à sa distance par rapport à une surface de référence, qui est généralement le niveau de la mer (ou "niveau zéro") sur Terre, par convention. Les sommets des montagnes sont associés à une altitude, qui est calculée à l'aide de différentes méthodes indirectes telles que la géodésie et la triangulation. L'altitude est également une donnée externe essentielle pour les calculs numériques dans divers domaines tels que la météorologie, la physique et la biologie.[20]

Découvrez dans quelle direction (L'orientation ou Azimut) :

Explorez l'orientation ou l'azimut dans laquelle les capteurs sont positionnés par rapport au sud : 0° vers le sud, 180° vers le nord, $+90^\circ$ vers l'ouest et -90° vers l'est. Dans notre cas, cette variation est réduite à zéro.[20]

Il est essentiel que les modules soient orientés plein sud afin de capturer la quantité maximale d'énergie solaire quotidienne, indépendamment de la saison. Pour déterminer la direction sud magnétique, une boussole peut être utilisée.[24]

L'angle d'inclinaison :

Par rapport à la surface du capteur ($0^\circ < d < 90^\circ$), il est égal à zéro pour un plan horizontal et à 90 degrés pour un plan vertical.

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

Une inclinaison plus prononcée par rapport à l'horizontale favorise la capture de l'énergie solaire pendant l'hiver, ce qui réduit les variations énergétiques entre l'hiver et l'été.[24]

La valeur du rayonnement solaire :

Des relevés de l'irradiation solaire ont été effectués sur le site, que ce soit quotidiennement ou mensuellement. En utilisant l'orientation et l'inclinaison des modules, le rayonnement global est exprimé en kWh/m²/jour ou kWh/m²/mois.

La température de site :

Il s'agit de la moyenne annuelle de la température dans cette région géographique, ce qui permet d'évaluer la production d'énergie des panneaux solaires.

L'enseillement :

Il désigne le nombre d'heures pendant lesquelles le soleil est présent au cours de la journée. Il varie en fonction des levers et couchers de soleil, ainsi que de la localisation géographique et de la saison (été et hiver).[24]

L'autonome :

L'autonomie est définie comme le nombre de jours au cours d'une semaine où le soleil est obscurci par des nuages, entraînant une absence d'enseillement.

Espace disponible pour le champ PV :

La disponibilité d'espace pour le champ photovoltaïque consiste à évaluer la capacité d'accueil des panneaux solaires et à déterminer si l'espace disponible est adéquat pour répondre aux besoins énergétiques requis.

II.2.2. Etape 02

II.2.2.1. Évaluation des appareils électriques

L'évaluation des récepteurs implique la détermination de la puissance de chaque appareil ainsi que du nombre d'heures d'utilisation. Le tableau III.1 ci-dessous fournit des explications plus détaillées.

L'appareille	Nombre	Nombre d'heures (h)	Puissance (w)	Puissance totale (w)
Lampes LED	09	07	16	144
Machine a lavée	01	02	700	700
frigidaire	02	18	110	220
TV	01	10	50	50
PC	02	08	20	40

Tableau II.1 : Estimation des récepteurs

Puissance totale (w)= Nombred'appareille ×Puissance d'une sou l'appareille

$$P_t = N \times P_i \tag{II.01}$$

II.2.3. Les besoins énergétiques quotidiennes

La détermination des besoins énergétiques quotidiens joue un rôle essentiel dans le calcul des dimensions requises pour le champ photovoltaïque et le parc de batteries.

Calcul de la consommation d'énergie électrique quotidienne des utilisateurs. Par conséquent, les besoins électriques seront exprimés en Wh/jour (ou kWh/jour).

$$E = h \times P \quad (\text{II.02})$$

E = La consommation quotidienne d'énergie électrique des utilisateurs (Wh / j)

h = Le nombre d'heures (h)

P = la puissance (w)

$$P_t = \sum P_i \quad P_t = \sum P_i \quad (\text{II.03})$$

II.2.4. Etape 03

II.2.4.1. Calcul de la puissance crête

$$P_c = \frac{E_c}{K \times I_r} \quad (\text{II.04})$$

P_c = la puissance crête de générateur photovoltaïque (W_c)

E_c = l'énergie journalière consommée (Wh/j)

K = constant des pertes d'énergie (0.65- 0.75)

I_r = irradiation (kW/m²/j)

II.2.4.2. Le choix de tension de système

La tension de système dépend de la puissance crête

V _{système}	12 v	24 v	48 v
P _c (wc)	P _c < 500 wc	500 < P _c < 2Kwc	P _v ≥ 2 Kwc

Tableau II.2 : Sélection de tension de système

II.2.4.3. Calcul le nombre des modules (total et séries, parallèles)

$$N_{pt} = \frac{p_c}{P_p} \quad (\text{II.05})$$

N_{pt} : le nombre totale des modules

P_c : la puissance crête

P_p : la puissance d'un panneau choisi

$$N_{ps} = \frac{V_{sys}}{V_{opt}} \quad (\text{II.06})$$

$$N_{pp} = \frac{N_{opt}}{N_{ps}} \quad (\text{II.07})$$

N_{pp} : le nombre des panneaux parallèles

Nps : le nombre des module série

Vopt : la tension d'un panneau choisi optimale

Vsys : la tension de système

II.2.5. Etape 04

II.2.5.1. Dimensionnement de capacité des batteries

$$C_t = \frac{E_c \times N_{ja}}{V_{sys} \times DOD} \quad (II.08)$$

C_t : capacité totale des batteries en (Ah)

E_c : l'énergie journalière consommée (Wh)

N_{ja} : nombre de jour d'autonomie

V_{sys} : la tension de système (v)

DOD : décharge maximale de la batterie (%)

II.2.5.2. Calcul le nombre de batterie (totale et série, parallèle)

$$N_{bt} = \frac{C_t}{C_b} \quad (II.09)$$

N_{bt} : nombre de batterie Totale

C_b : capacité de batterie choisi

$$N_{bs} = \frac{V_{sys}}{V_b} \quad (II.10)$$

$$N_{bp} = \frac{N_{bt}}{N_{bs}} \quad (II.11)$$

N_{bs} : nombre des batteries série

N_{bp} : nombre des batteries parallèle

V_b : tension de la batterie choisie

V_{sys} : tension de système

II.2.6. Etape 05

II.2.6.1. Le choix de Régulateur

La puissance maximale du champ photovoltaïque doit être inférieure à la puissance nominale du régulateur pour assurer un fonctionnement optimal et sécurisé.

$$\text{Régulateur} \geq 1.25 \times P_c \quad (II.12)$$

La tension à vide du champ photovoltaïque doit être inférieure à la tension maximale autorisée par le régulateur pour garantir un fonctionnement sûr et efficace.

$$V_{\text{entré rég}} \geq 1.25 \times V_{oc} \quad (II.13)$$

Le courant de sortie du champ photovoltaïque doit être inférieur au courant d'entrée du régulateur pour assurer un fonctionnement optimal et éviter tout problème

de surcharge.

$$I_{\text{entré rég}} \geq 1.25 \times I_{\text{cc}} \quad (\text{II.14})$$

Le coefficient de sécurité de 20% (1.25) est appliqué pour assurer une marge de sécurité. De plus, il est important que le régulateur soit compatible avec la tension du parc de batteries.

II.2.7. Etape 06

II.2.7.1. Le choix d'onduleur

$$P_{\text{ond}} \geq 1.25 P_{\text{c}} \quad (\text{II.15})$$

Avec

P_{ond} : la puissance fournie à l'onduleur

Il est essentiel de prendre en compte la puissance maximale, notamment la puissance de démarrage du moteur. De plus, la tension d'entrée de l'onduleur doit correspondre à la tension du système pour un fonctionnement approprié.

$$V_{\text{ond}} = V_{\text{sys}} \quad (\text{II.16})$$

II.2.8. Etape 07

II.2.8.1. Dimensionnement des câbles

Nous procédons à la détermination de la section des câbles afin de minimiser la chute de tension. Pour ce faire, nous appliquons la loi de chute de tension suivante :

$$\Delta U = R \times I \quad (\text{II.17})$$

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (\text{II.18})$$

R : résistance de câble (Ω)

I : le courant Passant sur le câble (A)

ΔU : la chute de tension (V)

Donc :

$$S = \rho \frac{L \times I}{\Delta U} \quad (\text{II.19})$$

ρ : La résistivité de câble: 0.000016 - 0.000017 pour le cuivre

L : La longueur des câbles

S : Section de câble

II.2.9. Etape 08

II.2.9.1. Le choix des Appareils de protection

L'appareil	Critère de dimensionnement
Disjoncteur	Le choix des appareils de protection dépend des grandeurs qu'ils doivent protéger, tels que le courant, la tension et d'autres paramètres pertinents. Il est important de majorer ces valeurs par un coefficient de sécurité (1.25) afin d'assurer une protection adéquate.
Parafoudre	
Fusibles	
Interrupteur sectionneur	

Tableau II.3 : Sélection des appareils de protection

II.3. Application numérique pour le dimensionnement d'un système photovoltaïque

Nous présentons l'application numérique d'un petit système photovoltaïque pour une école primaire, afin de couvrir la consommation énergétique des lieux publics tels que les salles de classe, la bibliothèque et la cantine. Le système est conçu pour répondre à une consommation d'énergie égale dans tous les lieux publics, en utilisant des panneaux solaires pour produire de l'énergie pendant les heures de lumière du jour, et en stockant l'énergie excédentaire dans des batteries. En cas de faible production d'énergie ou de demande élevée, le système peut être complété par une source d'énergie du réseau électrique. En suivant les étapes précédentes, nous appliquerons une solution numérique pour dimensionner le système photovoltaïque de l'école.

II.3.1. Introduction au site

II.3.1.1. Site géographique

Nous avons sélectionné la localisation de la ville de boussada pour notre étude. Les détails de cette localisation sont présentés dans le tableau 4 [20] ci-dessous :

Présentation de site	Les données
Ville	Bou Saada
La latitude	35.20 nord
La longitude	4.17 est
L'altitude	603 mètre

L'inclinaison	35°
L'ensoleillement	6 heures
L'autonome	4 jours

Tableau II.4 : Présentation de site

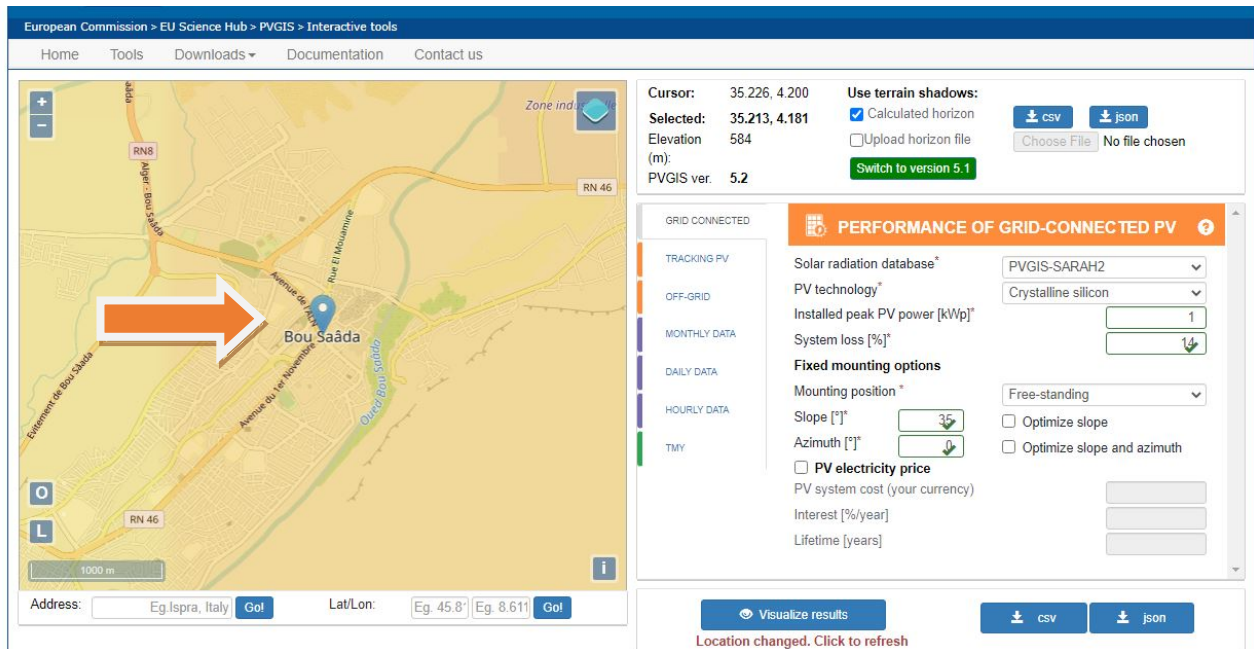


Figure II.2 : Présentation site de Bou Saâda par site de web PVGIS

II.3.1.2. La température moyenne

La variation moyenne de température dans la ville de Bou Saâda pour chaque mois est présentée à la fois dans le tableau 5 et dans la figure 30.

mois	jan	fév	mar	avri	mai	juin	juill	Aout	septe	octo	nov	déc
Valeur moy T °C	9.7	11.3	16.2	20.4	25.7	30.9	35.1	33.8	27.7	22.8	14.8	10.6

Tableau II.5 : Températures moyenne

II.3.1.3. La rayonnement (irradiation) moyenne

La variation moyenne d'irradiation dans la ville de Bou Saâda pour chaque mois est présentée à la fois dans le tableau III.6 et dans la figure II.3.[21]

mois	jan	Fév	mar	avri	mai	juin	juill	Aout	septe	octo	nov	déc
------	-----	-----	-----	------	-----	------	-------	------	-------	------	-----	-----

Valeur irradiation [kw/m ² /mois]	88.0	101.1	147.6	178.7	202.1	214.0	222.5	204.0	158.5	131.2	96.0	81.4
--	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------

Tableau II.6 : Irradiation moyenne

II.3.2. Estimation des récepteurs

Nous avons réalisé une étude sur l'échantillon d'une école primaire spécifique, l'école Messoudi Bounab, située dans la ville de Bou Saada. Dans le cadre de cette étude, nous avons procédé au calcul de la consommation quotidienne d'énergie de l'école, afin d'en déduire la consommation totale sur une période donnée.

Appareil électrique		Nombre	Puissance d'appareil (w)	Durée d'utilisation quotidienne (h/j)	Puissance totale (w)	Energie journalier (wh/j)
Ampoule led	5 classes	30	18	9	540	4860
	2 couloirs	13	18	14	234	3276
	Bureau de directeur	2	20	9	40	360
	Cour	1	180	14	180	2520
	Extérieur	1	180	14	180	2520
	WC	4	18	10	72	720
	Restaurant	6	18	9	108	972
Bureau ordinateur		1	200	4	200	800
Cloche		1	16	1	16	16
Imprimante		1	237	1	237	237
Consommation de réserve		1	100	2	100	200
					1907 w	16481 wh/J

Tableau II.7 : Consommation énergie journalier par ecole primaire messoudi bounab

II.3.3. Calcul de la puissance crête PC

$$P_c = \frac{E_c}{I_r \times K} = \frac{16481}{0.75 \times 5.6} = 3924.04 \text{ W.}$$

Avec : $E_c = 16481 \text{ Wh}$; $k = 0.75$; $I_r = 5.6 \text{ kW/m}^2 / \text{j}$.

II.3.3.1. Le choix de tension de système

$V_{sys} = 48V$; ($P_c > 2000 \text{ w}$).

II.3.3.2. Calcul le nombre des modules (total et série, parallèle)

Elément	Les valeurs
---------	-------------

Type	MONO-CRISTALINE
Puissance Pc	465 W
Tension Vopt	35.35V
Courant Iopt	13.22 A
Tension Voc	42.18 V
Courant Icc	14.09 A
L x G x H	1892 x 1135 x 35mm

Tableau II.8 : Caractéristiques de module utiliser

$$N_{pt} = \frac{P_c}{P_p} = \frac{3924.04}{465} = 8.43 ; \text{ donc } N_{pt} = 10 \text{ (Nombre de panneau total)}$$

$$N_{ps} = \frac{V_{sys}}{V_{opt}} = \frac{48}{35.35} = 1.35 ; \text{ donc } N_{ps} = 2 \text{ (Nombre de panneau série)}$$

$$N_{pp} = \frac{N_{pt}}{N_{ps}} = \frac{10}{2} = 5 ; \text{ donc } N_{pp} = 5 \text{ (Nombre de panneau parallèle)}$$

L'espace requis, La surface nécessaire (Sactif) peut être calculée en utilisant la formule suivante :

$$Sactif = NTM \times SM \quad (II.20)$$

NTM : Nombre total de modules PV.

SM : Surface du module.

Pour alimenter l'école avec des modules de type MONO-CRISTALLINE ayant une dimension de L x G x H : 1892 x 1135 x 35 mm de surface 2.1m²., il faudrait 10 modules,

Donc la surface active : 21m².

Ainsi, la surface utilisée pour l'installation des modules solaires serait de 171 m².



Figure II.4 : Le dimension de lecole messoudi bounab (Bou Saada)

II.3.4. Dimensionnement de capacité des batteries

$$C_t = \frac{E_c \times N_{ja}}{U \times D} = \frac{16481 \times 4}{48 \times 0.8} = 1716.77 \text{ Ah}$$

II.3.4.1. Calcul le nombre de batterie (totale et série, parallèle)

Elément	Les valeurs
Capacité C_{100}	200 Ah
Tension	12 V
DOD	0.8

Tableau II.9 : Caractéristiques de batterie utiliser

$$N_{bs} = \frac{V_{sys}}{V_b} = \frac{48}{12} = 4 \quad (\text{Nombre de batterie série})$$

$$N_{bp} = \frac{C_t}{C_b} = \frac{1716.77}{200} = 8.58 = 9 \quad (\text{Nombre de batterie parallele})$$

$$N_{bt} = N_{bs} \times N_{bp} = 36 \quad (\text{Nombre de batterie totale})$$

Le parc de batteries sera composé d'accumulateurs de 12 V chacun. Étant donné que le système fonctionne sous une tension de 48 V, les accumulateurs seront connectés en série.

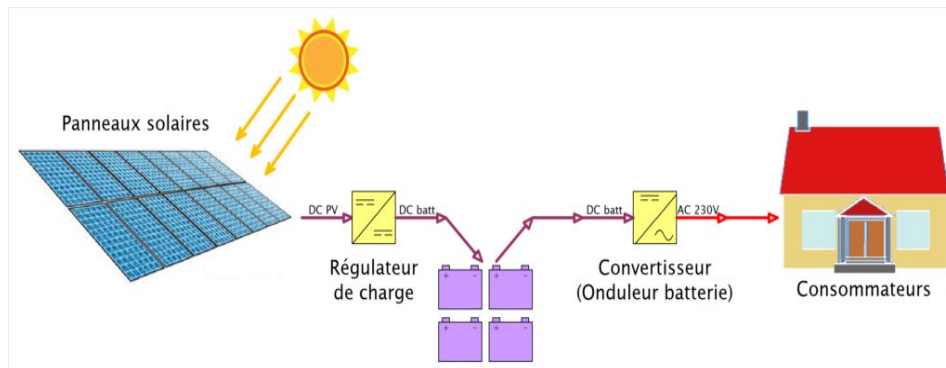


Figure II.3 : Schéma général d'une installation solaire autonome

II.3.5. Le choix de Régulateur

$Prégu \geq 1.25 \times Pc$; donc $Prégu \geq 1.25 \times 3924.04w$

$Ventré \text{ rég} \geq 1.25 \times Voc$; donc $Ventré \text{ rég} \geq 1.25 \times 84.36 v$

$I \text{ entré rég} \geq 1.25 \times Isc$; donc $I \text{ entré rég} \geq 1.25 \times 70.45 A$

Avec : tension de système de Régulateur égala 48 v

II.3.6. Le choix d'onduleur

$Pond \geq 1.25 Pc$; donc $Pond \geq 1.25 \times 3924.04 w$

Avec : tension de système de onduleur égala 48 v

II.4. Dimensionnement d'un système PV par logiciel PVsyst

II.4.1. Définition logiciel PVsyst

PVSYST est un outil logiciel très polyvalent qui a été spécialement conçu pour être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs. Cependant, sa polyvalence s'étend également à un outil éducatif précieux. En effet, il est équipé d'une fonctionnalité d'aide contextuelle approfondie et complète. Cette fonctionnalité fournit des explications détaillées sur les procédures et les modèles utilisés dans le logiciel et offre une approche conviviale avec un guide étape par étape pour aider les utilisateurs à développer leurs projets. Une autre caractéristique notable de PVSYST est sa capacité à importer des données météorologiques à partir de dix sources différentes, ainsi que des données personnelles, ce qui en fait un outil hautement personnalisable qui peut être adapté pour répondre aux besoins individuels [21].

II.4.2. Premier contact avec PVsyst

Lors de l'ouverture de PVsyst en V7.2, vous accédez à la page principale :

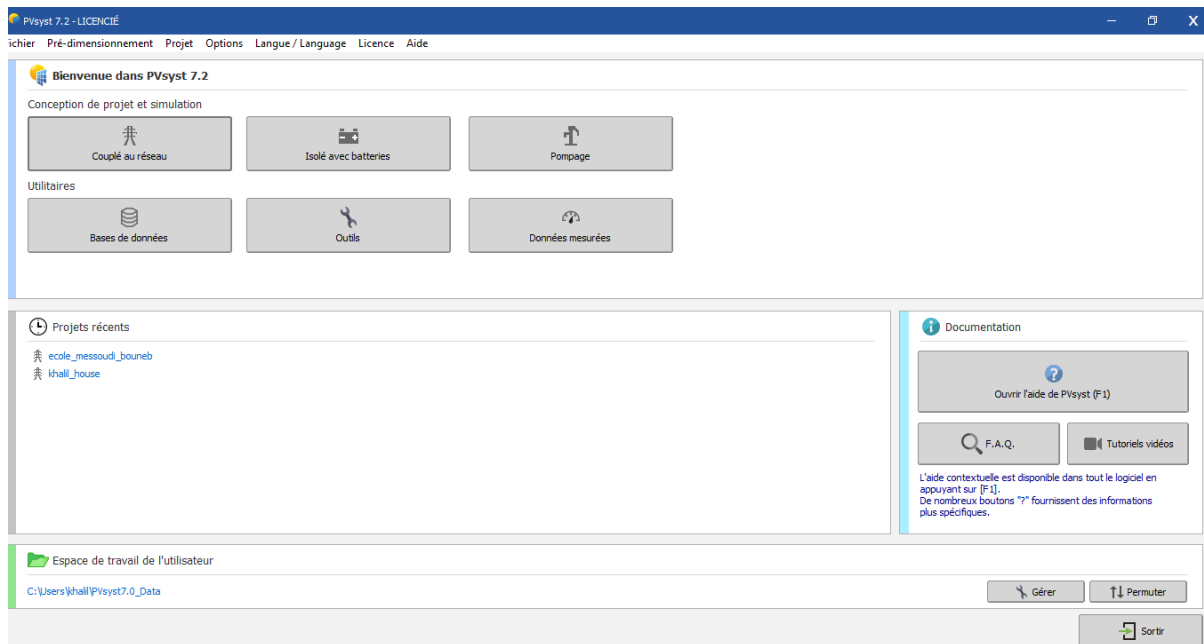


Figure II.4 : Page principale de PVsyst 7.2.

Pré-dimensionnement :

Le logiciel PVsyst est un outil pratique qui propose une méthode rapide et aisée pour dimensionner des projets photovoltaïques, sans nécessiter de composants réels. En utilisant ce pré-dimensionnement à l'échelle, il est possible d'estimer les dimensions exactes du système, les composants nécessaires ainsi que la consommation énergétique et le coût global approximatif du projet. En quelques clics, le logiciel PVsyst donne une évaluation précise des éléments importants facilitant donc la planification initiale.[22]

Conception du project :

La conception du projet et le dimensionnement final sont exécutés à l'aide de l'option PVsyst, qui offre un ensemble complet de fonctionnalités comprenant :

- ✓ Étude et analyse détaillée du projet.
- ✓ Calcul de la production via des simulations détaillées sur une base horaire.
- ✓ Capacité de simuler et de comparer diverses options.
- ✓ Intègre des masques d'ombrage à distance et un outil 3D pour évaluer les ombres des objets proches.
- ✓ Analyse approfondie de la perte du système.
- ✓ Évaluation économique basée sur des composants réels.[22]

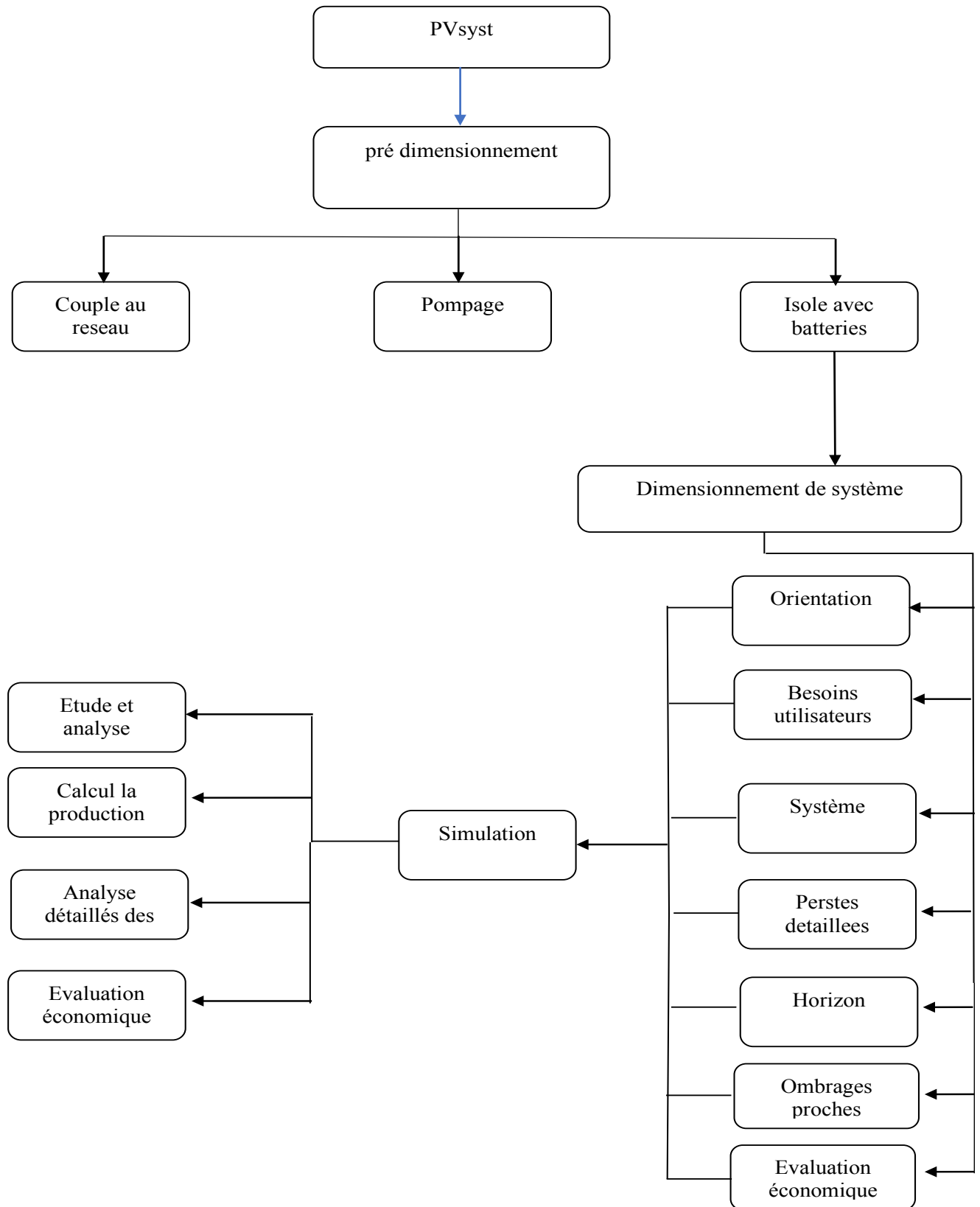


Figure II.5 : Comment fonctionne le logiciel de PVsyst.

II.4.3. Application logiciel PVsyst

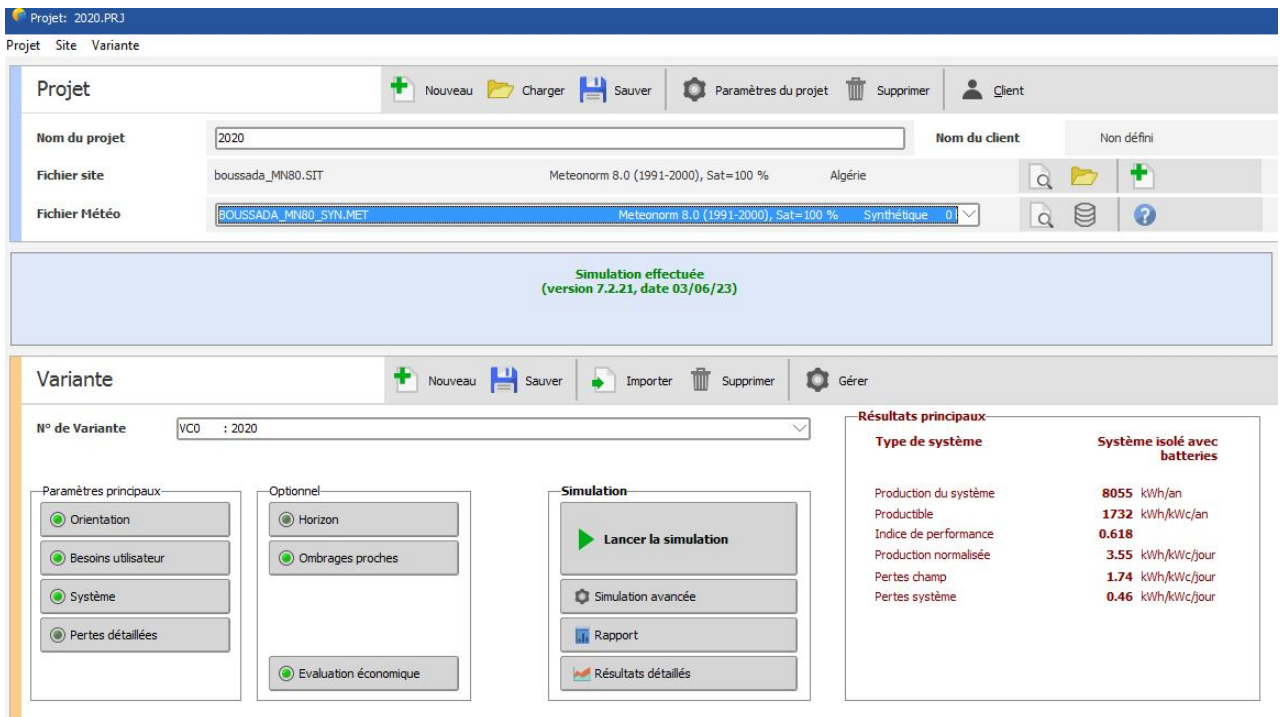


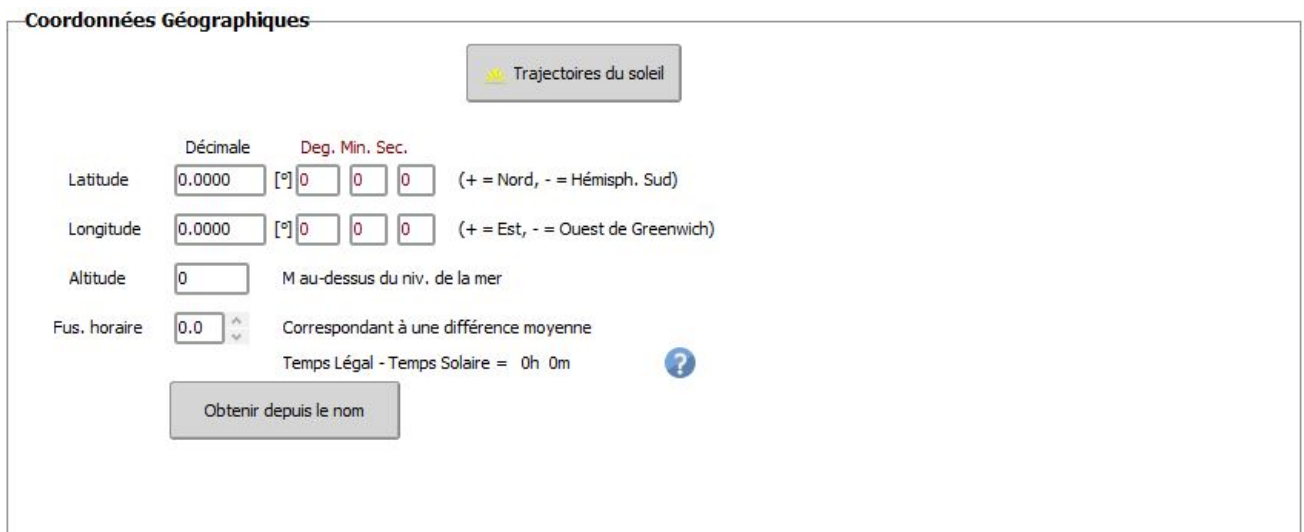
Figure II.6 : Tableau de bord de gestion de projet autonome avec batterie dans le logiciel PVsyst

Les coordonnées géographiques et météo mensuelle :

Pour entrer les paramètres du site géographique dans PVsyst, vous pouvez suivre les étapes suivantes :

Cliquez sur "Coordonnées Géographiques" pour entrer les informations du site telles que le nom du site, le pays, la région, etc.

Ensuite, cliquez sur "Météo mensuelle" pour entrer les données de l'irradiation globale moyenne et de la température moyenne.[21]



	Irradiation globale horizontale kWh/m ² /mois	Irradiation diffuse horizontale kWh/m ² /mois	Température °C	Vitesse du vent m/s	Turbidité Linke [-]	Humidité relative %
Janvier	0.0	0.0	0.0	0.00	0.000	0.0
Février	0.0	0.0	0.0	0.00	0.000	0.0
Mars	0.0	0.0	0.0	0.00	0.000	0.0
Avril	0.0	0.0	0.0	0.00	0.000	0.0
Mai	0.0	0.0	0.0	0.00	0.000	0.0
Juin	0.0	0.0	0.0	0.00	0.000	0.0
Juillet	0.0	0.0	0.0	0.00	0.000	0.0
Août	0.0	0.0	0.0	0.00	0.000	0.0
Septembre	0.0	0.0	0.0	0.00	0.000	0.0
Octobre	0.0	0.0	0.0	0.00	0.000	0.0
Novembre	0.0	0.0	0.0	0.00	0.000	0.0
Décembre	0.0	0.0	0.0	0.00	0.000	0.0
Année ?	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.0
	Coller	Coller	Coller	Coller		

Figure II.7 : Donnée les paramètres de site géographique

Enregistrer le site géographique, cliqué « Save », et après ça cliqué « Fermer ».

Orientation :

Les panneaux solaires seront installés sur une surface fixe inclinée avec un angle d'inclinaison et d'azimut fixe. Concrètement, l'avion sera incliné à 30° et orienté à 0° ouest. L'angle d'azimut est déterminé en mesurant l'angle entre la direction des panneaux et la direction Sud. Une valeur positive est attribuée aux angles qui pointent vers l'ouest, tandis que des valeurs négatives sont attribuées aux angles qui pointent vers l'est.

Après avoir défini les valeurs correctes pour l'inclinaison et l'azimut, vous cliquez sur "OK" et le bouton "Orientation" deviendra vert. Cliquez ensuite sur " Besoins utilisateurs".[21][22]

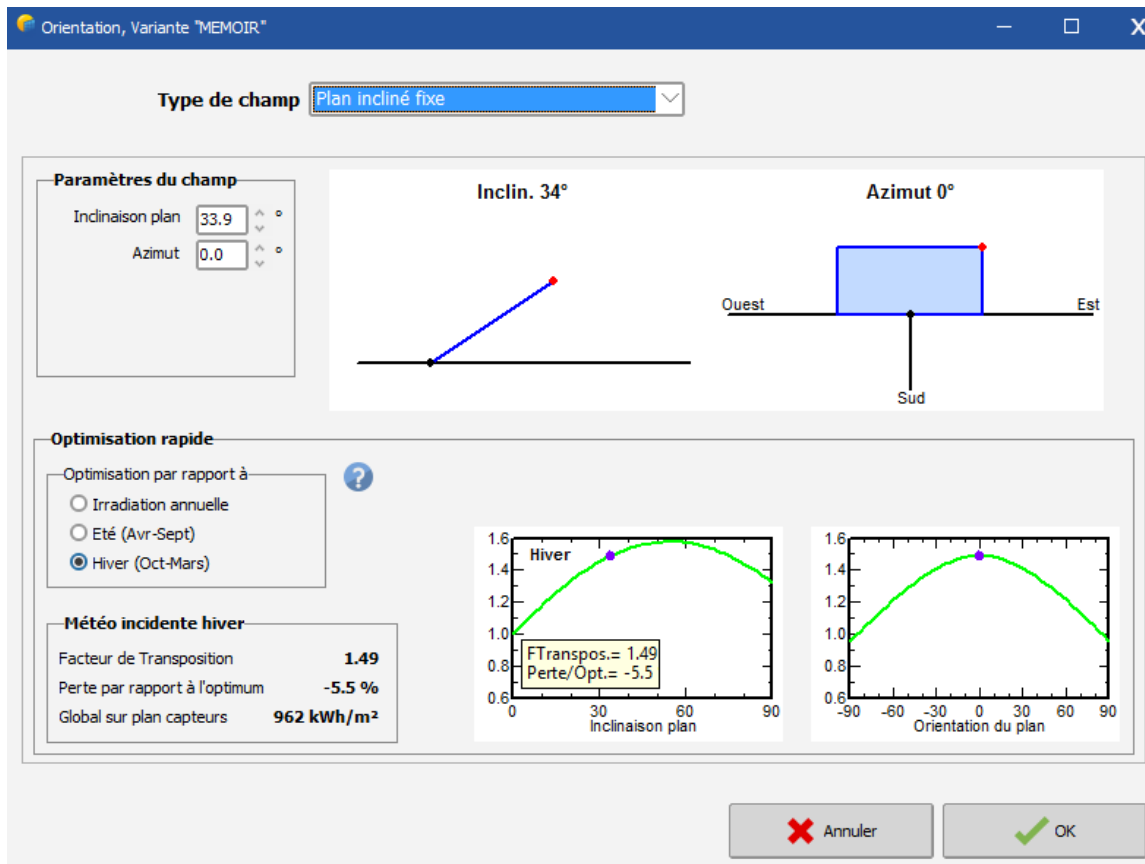


Figure II.8 : L'introduction d'information de l'inclinaison dans logiciel PVsyst

Besoins utilisateurs :

Besoin important des utilisateurs est de prendre en compte les besoins en énergie quotidienne variables

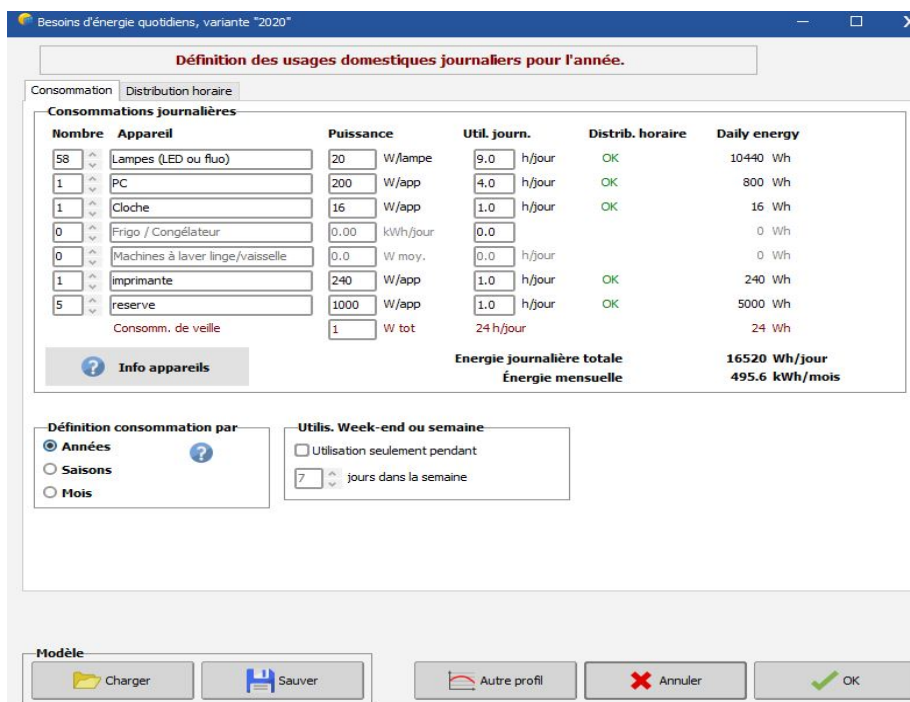


Figure II.9 : Consommation d'énergie par jour

Système :

Ici (**Figure II.9**), vous pouvez définir les principaux paramètres du système, tels que les modules, l'onduleur, la taille DC, les longueurs de chaîne, etc.

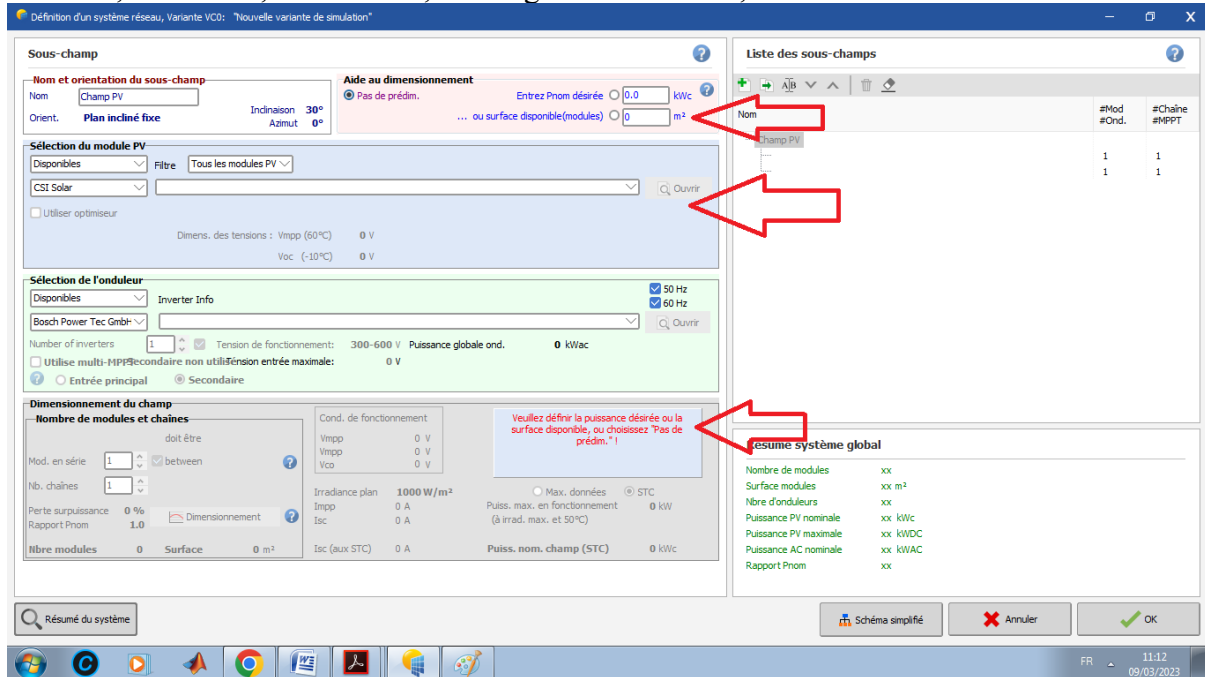


Figure II.10 : Boîte de dialogue de définition du système de réseau lors de la sélection du module PV.

1. **Aide au dimensionnement :** aide les utilisateurs à déterminer la taille optimale d'un système d'énergie solaire en fonction de leurs besoins énergétiques et des caractéristiques spécifiques de leur site.[21]
2. **Sélectionnez un module pv :** Pour choisir un module PV dans PVsyst, sélectionnez d'abord la "Bibliothèque de composants" et allez dans l'onglet "Modules PV". Ensuite, choisissez "Tous les modules" et sélectionnez "Générique" comme fabricant. Ce faisant, un indice apparaîtra dans le coin inférieur droit de la boîte de dialogue vous suggérant de sélectionner un onduleur. Il est important de choisir un onduleur compatible avec une capacité de puissance suffisante pour que votre système fonctionne de manière optimale.[21]
3. **Sélectionnez l'onduleur :** Nous pouvons sélectionner un onduleur.
4. **Selectionnez stockage denergie :** Sélectionnez le type de batterie que vous souhaitez utiliser, tel que lithium-ion, plomb-acide, etc.

Définition d'un système isolé avec batteries, Variante "2020", Variant "2020"

Besoins jour. moyens Déf. la PLOL acceptable % ?

16.5 kWh/jour Autonomie requise jour(s) ?

Pré-dimens. détaillé

Tension batterie (et utilis.) V ?

Capacité conseillée **1612 Ah**

Puissance PV conseillée **4020 Wc (nom.)**

Stockage Champ PV Appoint Schéma simplifié

Nom et orientation du sous-champ

Nom

Orient.. **Plan incliné fixe** Inclinaison **40°**
Azimut **0°**

Aide au dimensionnement

Pas de prédim. Entrez Pnom désirée kWc

Redimens. ... ou surface disponible m²

Sélection du module PV

Tous les modules Tri modules par Puissance Technologie

465 Wp 30V Si-poly 465 Wp 120 cells Depuis 20: Ouvrir

Dimens. des tensions : Vmpp (60°C) **30.0 V**
Vco (-10°C) **46.8 V**

Choisissez le mode de régulation et le régulateur

Régulateur universel Convertisseur de puissance MPPT

Mode d'opération

Couplage direct

Convertisseur MPPT

Convertisseur DC-DC

Les paramètres de fonctionnement du régulateur universel seront automatiquement ajustés selon les propriétés du système.

Courants max. de charge - décharge

MPPT 1000 W 48 V 107 A 128 A Universal controller with MPPT conve Ouvrir

Conception champ PV

Nombre de modules et chaînes

Mod. en série doit être: Pas de contrainte

Nb. chaînes entre 3 et 4

Nbre modules **10** **Surface** **21 m²**

Cond. de fonctionnement:

Vmpp (60°C) 60 V

Vmpp (20°C) 71 V

Vco (-10°C) 94 V

Irradiance plan **1000 W/m²**

Imp (60°C) 66.9 A

Isc (60°C) 71.3 A

Isc (aux STC) 71.1 A

Puiss. max. en fonctionnement (à irrad. max. et 50°C) **4.21 kW**

Puiss. nom. champ (STC) 4.65 kWc

Figure II.11 : Boîte de dialogue de définition du système lors de la sélection.

Stockage
Champ PV
Appoint
Schéma simplifié

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

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

Définissez le pack de batteries

Trier les batteries selon tension capacité fabricant

MASTER 12 V 200 Ah Pb Sealed Plates me lead Ouvrir

Pb-acide

4 batteries en série Nombre de batteries **36**

9 batteries en parallèle Nombre d'éléments **216**

100.0 % **Etat d'usure initial (nb. de cycles)**

100.0 % **Etat d'usure initial (statique)**

Tension du pack batteries **48 V**

Capacité globale **1800 Ah**

Energie stockée (80 % DOD) **69.1 kWh**

Poids total **1188 kg**

Nbre de cycles à 80 % DOD **292**

Energie totale stockée durant la vie de la batterie **23043 kWh**

Température batterie en opération

Mode tempér. Fixée (local tempéré)

Température fixée 20 °C

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

Figure II.12 : Configuration du pack de batterie

Besoins utilis.	Utilis. domestique	Puissance moy.	688 W
	Fraction nuit 50.3 %	Énergie jour	16.5 kWh
Pack de batteries	9 en parallèle, 48 V	Capacité	1800 Ah
	Autonomie 4.2 jr	Energie stockée	69.1 kWh
Champ PV	5 chaînes de 2 modules	Puissance nom.	4.65 kWc
	PV/PLoad 6.8	Énergie moy. jour	18.7 kWh
Régulateur	MPPT universel	Puissance nom.	4.04 kW
	PV/PConv 1.15	Seuils	selon SOC

Figure II.13 : Résumé des entrées de système (besoins utilitaires, champ PV, régulateur, pack de batterie)

Régulateur utilisé :

Données générales
Seuils
Convertisseur MPPT
Profil d'efficacité
Autres données / Dimensions

Modèle Universal controller with MPPT converter	Fabricant Generic
Nom fichier Universal_Controller_LA_MPPT.RLT	Source données Adaptable for any system

Base de données PVsyst originale

Régulateur universel par défaut
En bleu : valeurs définies pour le système

Caractéristiques générales du composant

Technologie Convertisseur MPPT

Afficheur Pas d'affichage

Contrôles externes

Gestion de charge

Contrôle gen. appoint

Appoint effect. utilisé

Mode de régulation

Tension batterie

Selon SOC

Contrôle batterie

Contrôle batteries au plomb-acide

Contrôle batteries au lithium

Compensation de température batterie

Type Capteur interne Défaut

Coefficient de correction -5.0 mV/°C

Température de référence 25 °C

Caractéristiques électriques

Courant de charge max.	107.1	A selon STC
Courant de décharge max.	128.4	A selon utilis.
Courant générateur max.	128.4	A Groupe électrogène
Puissance nominale convertisseur	3720	W
Autoconsommation	0.0	mA
Consommation de nuit	0.0	mA

Pack de batteries du système

Techno. **Pb-acide, scellée, plaques**

Tension du pack batteries **12 V** adapté, OK

Capacité du pack batteries (C10) **200 Ah (C10)**

Régulateur par défaut: tension nominale selon le pack de batteries du système

Régulateur universel: Les valeurs sont fixées selon votre système. Vous pouvez ajuster les efficacités sur la page suivante.

Export vers table
 Imprimer
 Annuler
 OK

Figure II.14 : Données générales du régulateur choisi dans le logiciel PVsyst.

Données générales Seuils Convertisseur MPPT Profil d'efficacité Autres données / Dimensions

Description **Generic, Universal controller with MPPT converter**

Régulateur universel: les seuils peuvent être ajustés pour ce système

Entrée solaire (champ PV)

Seuils pour la charge

Déclenchement (Vmax) V SOC Défaut

Enclenchement (Vmin) V SOC

Commande de la charge utilisateur

Seuils pour la décharge

Déclenchement (Vmin) V SOC

Enclenchement (Vrecov.) V SOC

Commande groupe électrogène

Seuils pour la recharge

Enclenchement (Vmin) V SOC

Déclenchement (Stop ch.) V SOC

Seuils spécifiés selon

Tension ?

SOC

Valeurs

Par élément

Pack de batteries

Conditions pour SOC <=> Tension

Température batterie °C

Courant de charge A

Courant de décharge A

Courant appoint A

?

Données générales Seuils Convertisseur MPPT Profil d'efficacité Autres données / Dimensions

Description **Generic, Universal controller with MPPT converter**

Entrée solaire (champ PV)

Tension MPP minimale V

Tension MPP maximale V

Tension champ max. V

Puissance seuil W

Sortie (batterie et charge utilisateur)

Tension de sortie nominale V

Puissance de sortie nominale kW

Puissance de sortie maximum kW

Courant de sortie nominal **77.5** A

Cond. de fonctionnement

Mode d'opération

MPPT

Tension fixe

Comportement à Pnom

Limitation ?

Coupure

Comportement à Vmin/Vmax

Limitation ?

Coupure

Efficacité

Efficacité maximale %

Efficacité moyenne européenne normalisée % ?

Valeurs pour le profil automatique

Régulateur universel: Les valeurs sont fixées selon votre système. Vous pouvez ajuster les efficacités sur la page suivante.

Figure II.15 : Caractéristiques MPPT du régulateur choisi.

Après avoir défini le module, régulateur et stockage d'énergie la conception de la matrice, le panneau bleu en bas à droite de la boîte de dialogue doit être vide ou orange. Si un message

d'erreur rouge apparaît, il est nécessaire de revoir les choix effectués et de corriger tout écart pour correspondre aux valeurs spécifiées.[21]

Une fois tous les éléments requis définis pour la première simulation, cliquez sur "OK" pour valider les choix. Un avertissement s'affichera indiquant que "La puissance de l'onduleur est légèrement sous-dimensionnée", mais vous pouvez l'ignorer momentanément en cliquant sur "OK".

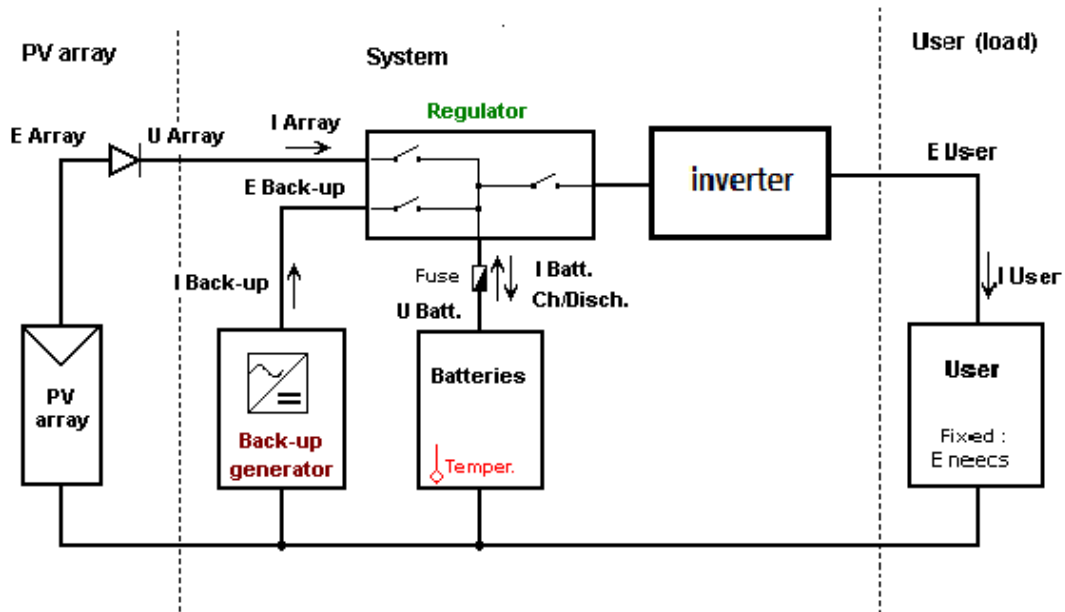


Figure II.16 : Schéma de system PV et choix de régulateur et convertisseur

Ombres proches :

Lorsque nous concevons un système photovoltaïque, il est crucial de considérer les ombres proches. Ces derniers désignent les ombres produites par des objets tels que les bâtiments, les arbres ou autres éléments qui se trouvent à proximité des panneaux solaires. Cet aspect est pris en compte dans PVsyst pour une conception réussie.[21]

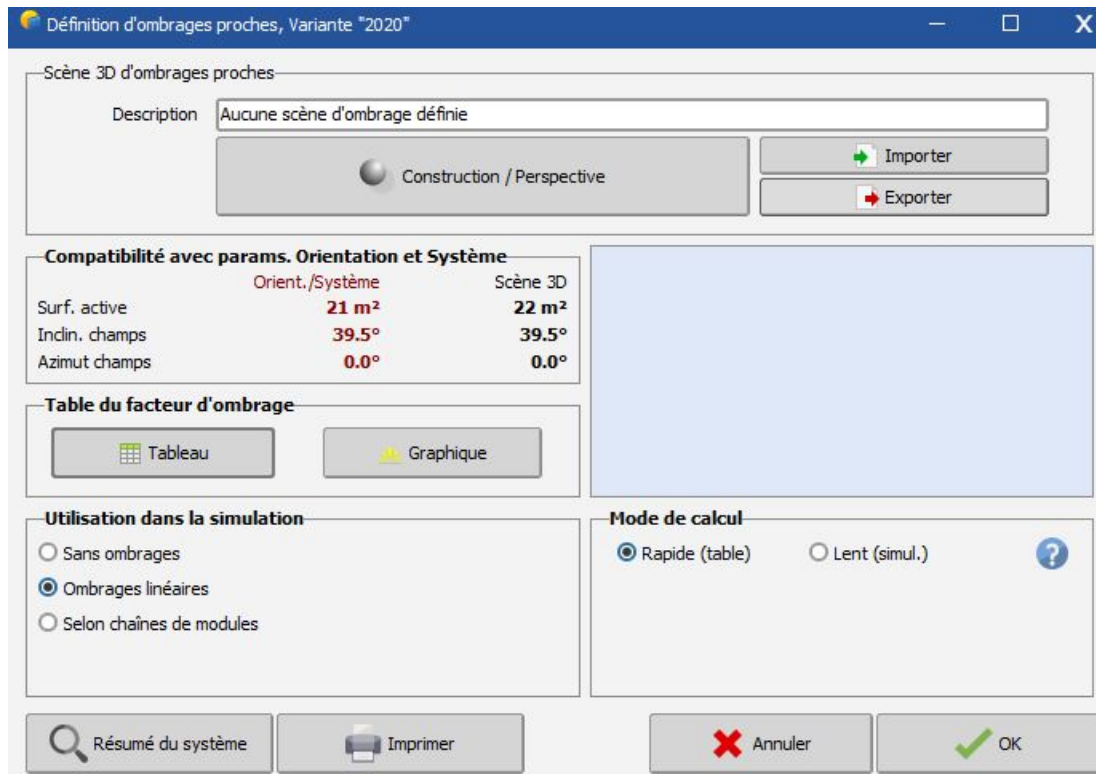


Figure II.17 : Définition d'ombrages proches

II.4.4. Les pertes de système

II.4.4.1. Pertes thermiques

La performance d'un module photovoltaïque diminue lorsque la température ambiante augmente. L'équation suivante, présentée dans PVsyst [08], exprime cette relation entre la température ambiante, l'élévation de la température du module solaire et l'irradiance incidente qui représente l'équilibre thermique.

$$U * T_m - T_a = \alpha * G_m * (1 - \eta) \quad (II.21)$$

Dans cette équation :

α est le coefficient global d'absorption de l'irradiation. Dans PVsyst, la valeur par défaut est de 0,9.

η est l'efficacité du module PV liée à sa zone spécifique. PVsyst calcule cette valeur en fonction des conditions de fonctionnement du module lorsque cela est possible, sinon une valeur par défaut de 10% est utilisée.

U est le facteur de perte thermique utilisé pour caractériser le comportement thermique du champ. Il est décrit par l'équation suivante :

$$U = U_c + U_v * v \quad (II.22)$$

Dans cette équation :

U_c est la composante constante.

U_v est un facteur proportionnel à la vitesse du vent v .

II.4.4.2. Perte de câblage ohmique

La perte de puissance dans un circuit électrique due à la résistance du circuit et au flux de courant peut être définie. PVsyst offre à l'utilisateur la possibilité de calculer les pertes ohmiques dans trois sections : les pertes

de circuit en courant continu (pertes ohmiques du réseau), les pertes de circuit en courant alternatif qui se produisent de l'onduleur au point d'injection (prises en compte lorsque la longueur du câble est significative), ainsi que les pertes de transformateur externes. Dans les scénarios, seules les pertes de circuit en courant continu sont prises en compte, car les longueurs de câble en courant alternatif ne sont pas importantes et les transformateurs externes ne sont pas utilisés dans les simulations.[21]

Le taux de perte ohmique est défini comme le rapport des pertes ohmiques de câblage (P_w) à la puissance nominale du réseau, comme indiqué dans les équations suivantes [25] :

$$P_w = R_w * I_{sc} \quad (\text{II. 23})$$

Où :

R_w : Est la résistance globale du câblage ;

I_{sc} : le courant de court circuit.

II.4.4.3. Rendement du système

Le rendement du système (Y_f) représente l'énergie totale utile produite par le système par jour, semaine, mois ou année, par rapport à sa puissance nominale. Dans PVsyst, l'unité de mesure de (Y_f) est exprimée en kWh/kWc/jour et kWh/kWc/an (appelée production spécifique dans la fiche de rapport finale).

II.4.4.4. Perte de collection

La perte de collection (L_c) englobe divers facteurs tels que la qualité thermique, les pertes ohmiques, la qualité du module, l'incompatibilité, l'incidence (IAM), l'ombrage, la salissure, le point de puissance maximale (MPP), les pertes de régulation et autres inefficacités. Elle est définie comme la différence entre le rendement de référence du système (Y_r) et le rendement du tableau (Y_a), tel qu'indiqué ci-dessous [25][21] :

$$L_c = Y_r - Y_a \quad (\text{II.24})$$

II.4.4.5. Performance Ratio

Est un indicateur clé utilisée pour évaluer la qualité et l'efficacité des centrales solaires photovoltaïques. Il offre une mesure globale de la qualité de l'installation, indépendamment de sa localisation géographique. Le PR est exprimé en pourcentage et permet de comparer la production d'électricité réelle à la production théorique attendue. Il prend en compte plusieurs facteurs tels que l'énergie disponible pour la production d'électricité, la surface occupée par les modules PV et leur efficacité. Cette mesure englobe tous les aspects de la performance du système, y compris la disponibilité du réseau électrique pendant des périodes spécifiques et les exigences minimales en ensoleillement pour une production optimale d'électricité. Une période d'analyse d'un an permet d'évaluer avec précision le PR en prenant en compte les variations saisonnières et les conditions météorologiques changeantes.[25][21]

Il peut être exprimé Par l'équation suivante :

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \quad (\text{II. 25})$$

On définit le Performance ration (PR) comme étant le rapport :

$$PR = \frac{\text{Rendement réel du syst ème}}{\text{Rendement nominale du syst ème}} \quad (\text{II. 26})$$

$$PR = \frac{E_T / (H_{Gt} \beta * A_G)}{P_{G\text{ STC}} / (G_{\text{STC}} * A_G)} = \frac{E_T}{H_{Gt} / G_{\text{ STC}} * P_{G\text{ STC}}}$$

$$PR = \frac{E_T}{NHP\ G\ \text{STC}} \quad (\text{II. 27})$$

ET : L'énergie totale consommée ramenée au GPV (Wh/m^2).

$HGt \beta$: L'irradiation reçue sur le plan de GPV ($\beta = \beta_{opt}$).

PG_{STC} : La puissance crête sous STC.

G_{STC} : L'irradiance $STC = 1000/\text{m}^2$.

$NHPG_{ST} = HGt / (G_{STC})$: représente le nombre d'heures où le GPV fonctionne à sa PG_{STC}

II.5. Conclusion

Au cours de ce chapitre, notre investigation s'est concentrée sur le mode opératoire nécessaire pour dimensionner rationnellement un système photovoltaïque doté d'une batterie destinée à alimenter une école primaire dans le cadre d'un projet lié à l'énergie solaire. Nous avons soigneusement étudié toutes les étapes cruciales qui permettent de calculer avec minutie les besoins en énergie et d'assimiler une batterie capable de stocker efficacement l'énergie solaire produite. À travers cette section, nous avons acquis une perception plus aigüe quant à l'importance que revêt un dimensionnement correct afin que la fourniture régulière en électricité solaire réponde aux exigences spécifiques de cette même structure scolaire.

Chapitre III : RESULTAT DE SIMULATION

III.1. Introduction

Ce chapitre présente les résultats de simulation de l'installation photovoltaïque pour l'école primaire Messoudi Bounab. Nous examinerons en détail les paramètres des résultats obtenus et fournirons une explication approfondie de chaque aspect. En fin de compte, nous présenterons également le rapport final qui résume l'ensemble des données et des conclusions tirées de cette simulation. L'objectif de ce chapitre est de fournir une analyse complète des performances et des caractéristiques de l'installation PV, afin de mieux comprendre son fonctionnement et son potentiel énergétique pour répondre aux besoins de l'école.

III.2. Présentation des résultats

Pour garantir le choix de la meilleure installation photovoltaïque et maximiser la production d'électricité, nous avons opté pour le bâtiment le plus élevé. Cette décision vise à éviter toute erreur potentielle qui pourrait compromettre l'efficacité de la production énergétique. Grâce à cette approche, nous avons réussi à mettre en place une installation optimale qui se traduit par une production d'électricité maximale.

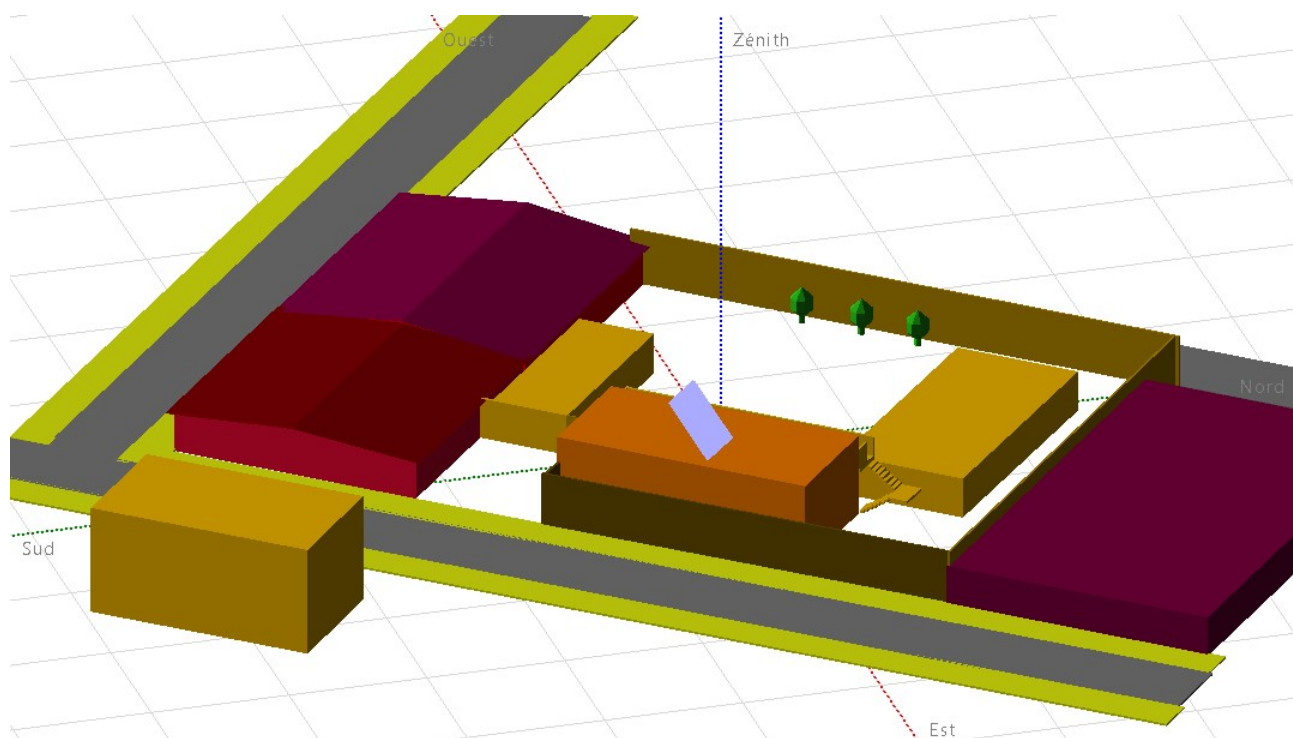


Figure III.1 : Simulation de structure de ecole primaire messoudi bounab par PVsyst.

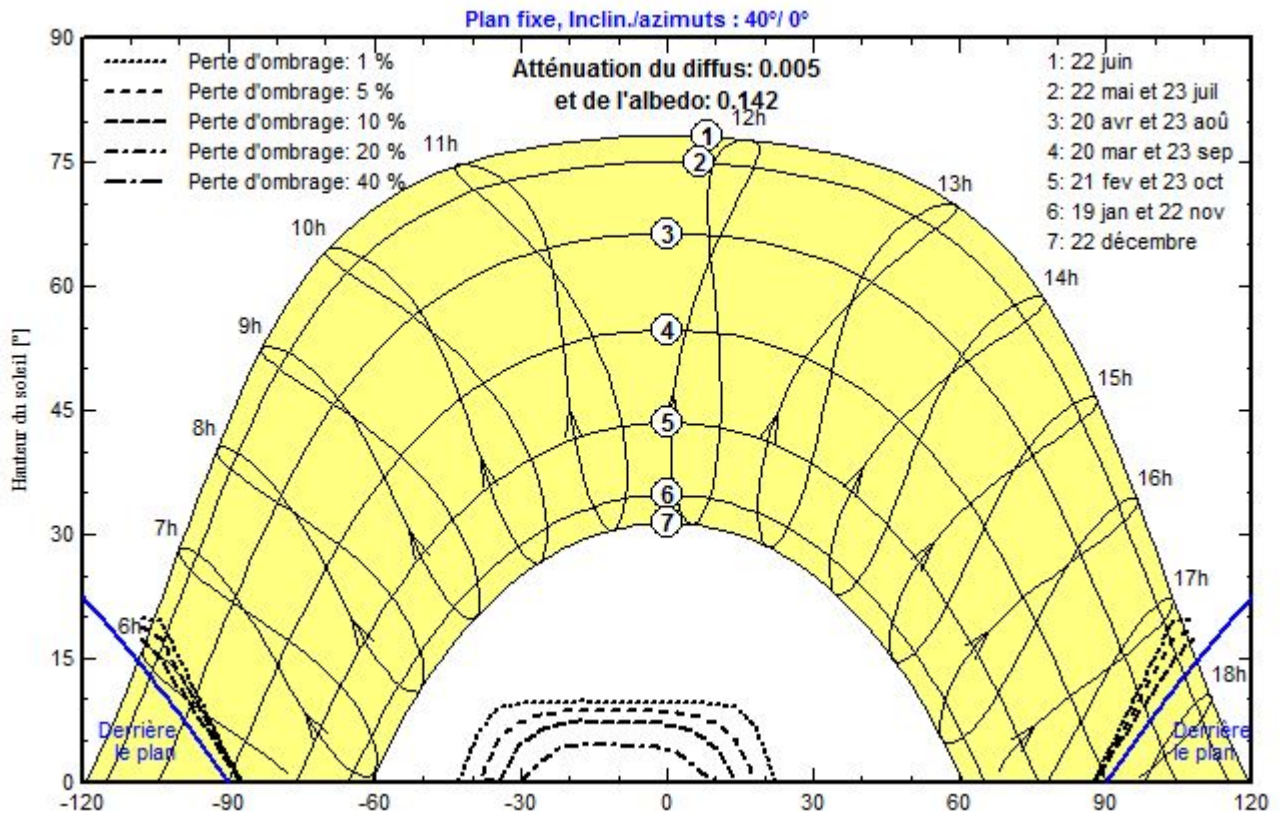
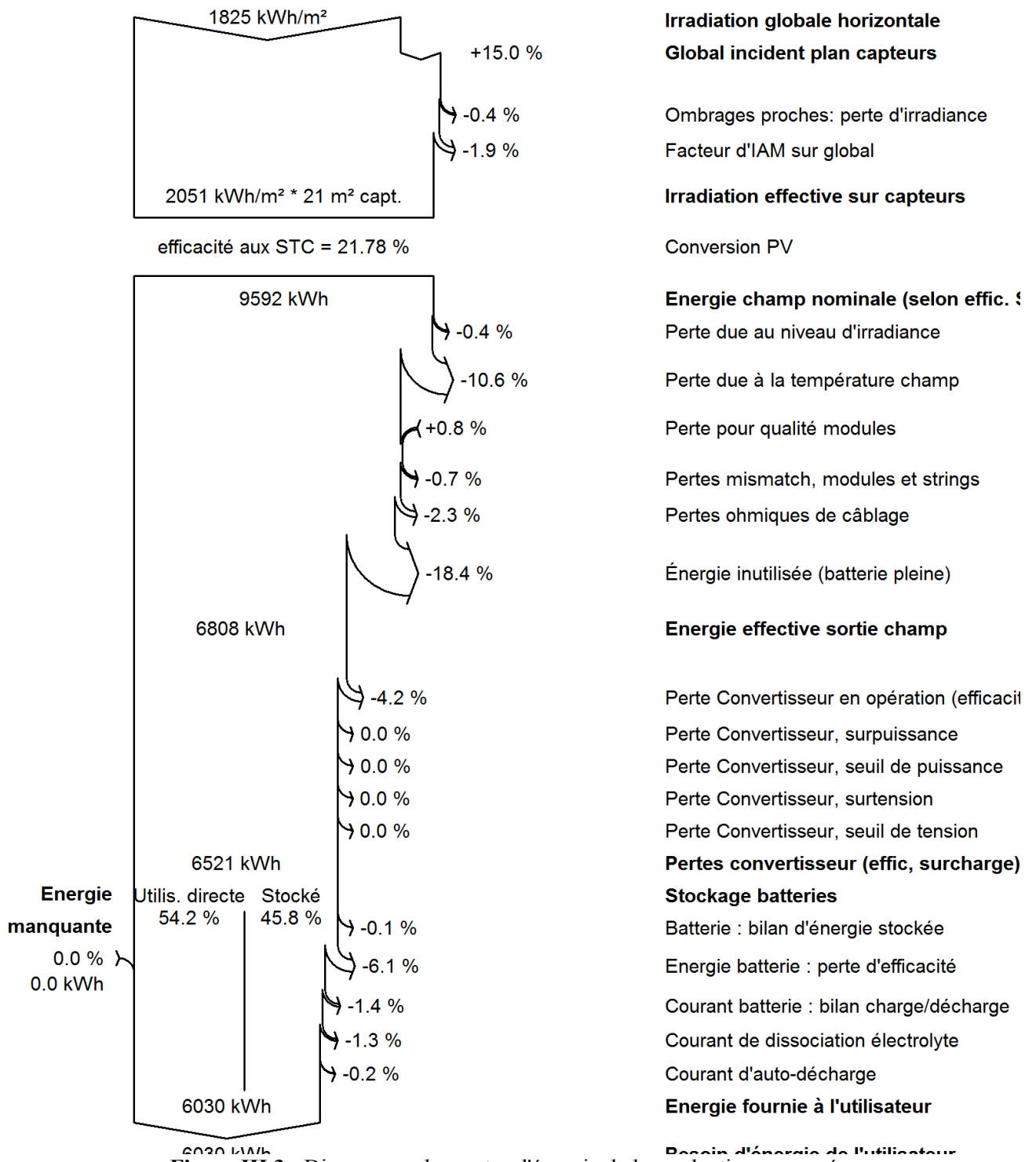


Figure III.2 : Trajectoire de soleille avec perte d'ombrage.

Diagramme des pertes pour "2020" - année



III.2.1. Le module photovoltaïque utilisé :

Nous avons sélectionné les modules photovoltaïques fournis par IFRI-SOL pour notre installation. Parmi les types disponibles, nous avons opté pour la technologie

Polycristalline en raison de ses caractéristiques distinctives, qui sont les suivantes

	Unité	Module		
Puissance nominale	W	455	460	465
Tension en circuit ouvert(Voc)	V	41.64	41.91	42.18
Courant de court circuit(Isc)	A	13.93	14.01	14.09
Tension mpp(Vmpp)	V	34.93	35.14	35.35
Courant mpp(Impp)	A	13.04	13.13	13.22
Tension maximale du système	V	1500		
Charge maximale de fusible	A	25		

Tableau III.1 : Caractéristique électrique de module PV.

Type de cellule	Polycristalline
Nombre de cellule par module	120 cellule
Dimension de la cellule	182*91 mm
Dimension de la module	1892*1135*35 mm
Poids du module	24.2 KG
Cadre	35 mm en alliage d'aluminium anodisé type 6063-T6 (argent/noir)
Type de verre	Verre trempé à faible teneur en fer de 3,2 mm à haute transmission
Boite de jonction et connecteur	Boîte de jonction 3xIP68 avec diodes de dérivation
Température d'utilisation	-40°C a 85°C

Tableau III.2 : Caractéristique mécanique de module PV.

III.2.2. L'onduleur utilisé :

Identification	UP3000-HM5042
Puissance nominal	3000
Tension nominal	350
Coupe-circuit de secteur (raccord 400V)/courant de sortie AC max.	50A
Puissance AC maximal	2875W
Tension d'entrée CC maximale	48v
Courant d'entrée CC maximale	50A
Domaine MPP 4	80~350V
Tracking efficiency	≥99.5%
Temperature compensate coefficient	-3mV/°C/2V (Default)
Dimension(H x W x D)	607.5x381.6x149mm
Poids	15kg
Coût	100320 DA

Tableau III.3 : Caractéristique des onduleurs utilisés en installation PV.

III.2.3. Analyse détaillée de l'utilisation de l'énergie

Ce tableau visualiser la répartition de l'énergie produite par le système photovoltaïque, compris la quantité autoconsommée, la quantité consommée la charge électriques, les pertes thermiques et les pertes de performance.

	EArray kWh	E_Load kWh	E_User kWh	SolFrac ratio	T_LOL Heure	Pr_LOL %
Janvier	587.5	512.1	512.1	1.000	0	0.00
Février	532.1	462.6	462.6	1.000	0	0.00
Mars	577.4	512.1	512.1	1.000	0	0.00
Avril	567.9	495.6	495.6	1.000	0	0.00
Mai	592.4	512.1	512.1	1.000	0	0.00
Juin	563.8	495.6	495.6	1.000	0	0.00
Juillet	577.4	512.1	512.1	1.000	0	0.00
Août	587.9	512.1	512.1	1.000	0	0.00
Septembre	553.5	495.6	495.6	1.000	0	0.00
Octobre	590.2	512.1	512.1	1.000	0	0.00
Novembre	552.0	495.6	495.6	1.000	0	0.00
Décembre	526.6	512.1	512.1	1.000	0	0.00
Année	6808.4	6029.8	6029.8	1.000	0	0.00

Tableau III.4 : Production et utilisation mensuelle de l'énergie

Les résultats montrent clairement l'absence de perte due à l'ombrage. Par conséquent, il n'y a pas de bâtiments de grande taille à proximité de l'école qui pourraient causer des ombrages nuisibles. De plus, il n'y a aucune perte de performance due aux pertes thermiques causées par la chaleur générée par les panneaux solaires pendant leur fonctionnement. Le système fonctionne donc de manière optimale sans aucune diminution de sa performance.

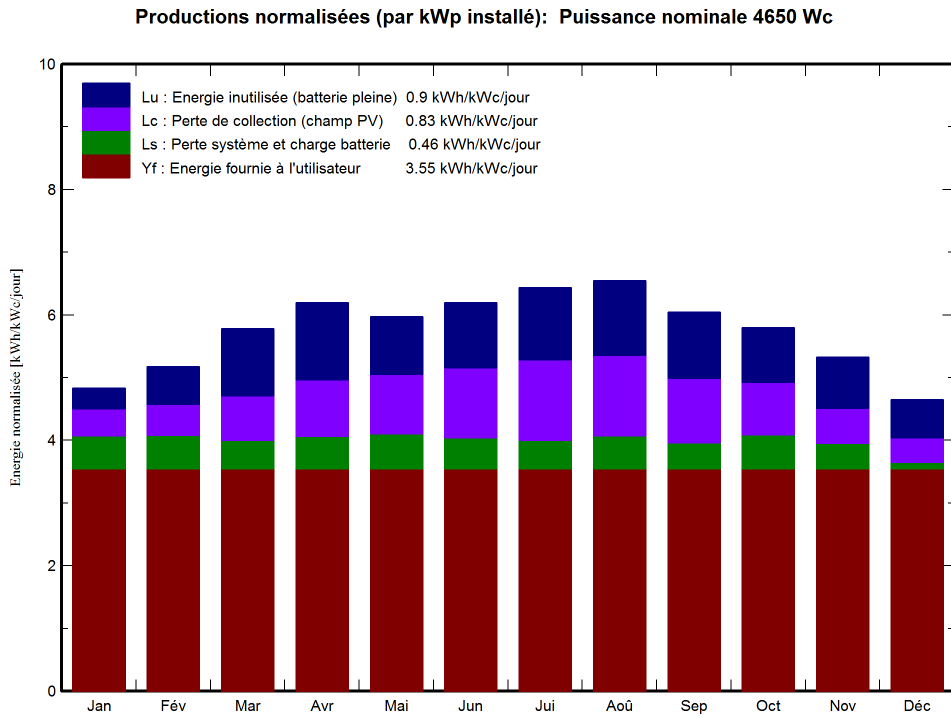


Figure III.4 : Production normalisée du système photovoltaïque dans les résultats de simulation PVsyst

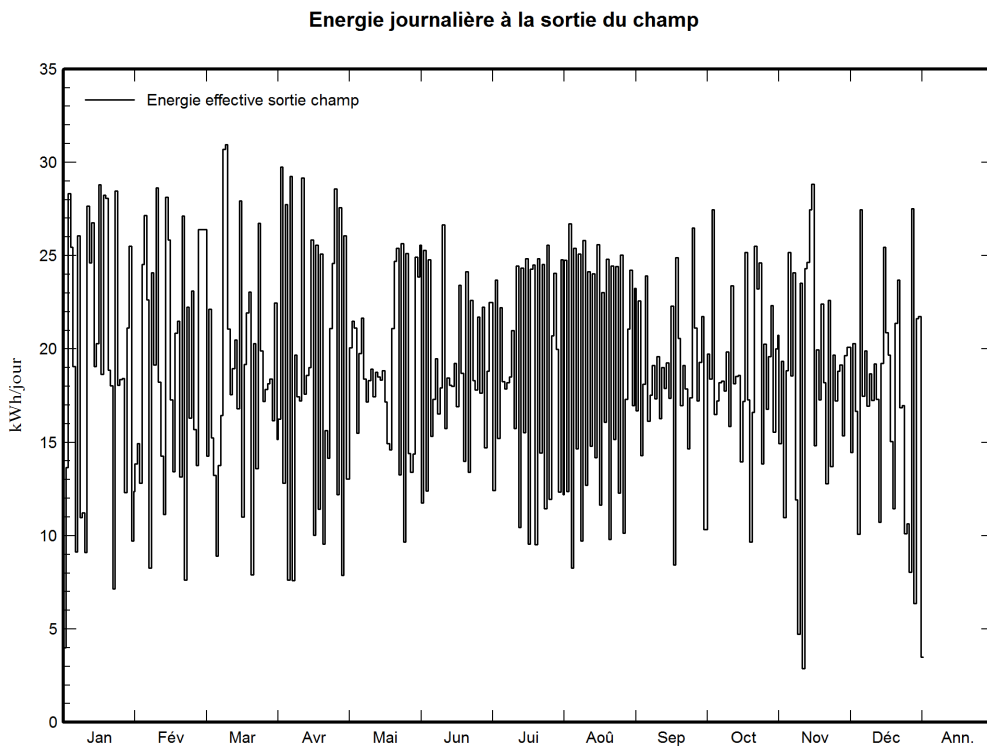


Figure III.5 : Production d'énergie effective en sortie du champ photovoltaïque

2020

Bilans et résultats principaux

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
Janvier	88.0	147.8	609.4	47.2	0.000	512.1	512.1	1.000
Février	101.1	142.4	587.6	77.4	0.000	462.6	462.6	1.000
Mars	147.6	175.6	706.9	154.2	0.000	512.1	512.1	1.000
Avril	178.7	180.8	714.0	171.0	0.000	495.6	495.6	1.000
Mai	202.1	179.7	698.2	132.1	0.000	512.1	512.1	1.000
Juin	214.0	180.0	683.7	144.1	0.000	495.6	495.6	1.000
Juillet	222.5	193.4	718.1	165.5	0.000	512.1	512.1	1.000
Août	204.0	197.5	733.6	170.4	0.000	512.1	512.1	1.000
Septembre	158.5	177.2	677.5	147.1	0.000	495.6	495.6	1.000
Octobre	131.2	176.5	691.0	125.0	0.000	512.1	512.1	1.000
Novembre	96.0	157.7	642.8	113.0	0.000	495.6	495.6	1.000
Décembre	81.4	142.3	592.5	87.5	0.000	512.1	512.1	1.000
Année	1825.2	2050.9	8055.4	1534.4	0.000	6029.8	6029.8	1.000

Tableau III.5 : Bilan et résultat principaux de l'énergie mensuelle.

III.3. Rapport final du projet de centrale solaire photovoltaïque

Le rapport final récapitule en profondeur le processus détaillé. Il fournit toutes les informations nécessaires telles que : Le nom attribué au projet en question et son site géographique précis ; Une vue d'ensemble sur les panneaux solaires détaillant chacun de leurs composants tels que : Les batteries conformes ; Les régulateurs; Les adaptateurs; Les câbles - - assorti d'une description complète affectée à leur quantité respective.

Le rapport atteste également des choix opérés pour ce qui est des régulateurs, convertisseurs et câbles accompagnant leur caractéristique individuelle essentielle dans la description affichée.

On peut également y retrouver des données fournies concernant la consommation journalière mensuelle et annuelle sous forme de courbes, ainsi que la quantité d'énergie électrique produite par le système photovoltaïque. Des renseignements sur le rayonnement solaire pour chacun des mois sont évoqués en plus d'une analyse exhaustive des pertes engendrées par le système photoélectrique pour déterminer l'efficacité globale.

III.3.1. Rapport de logicielle

Version 7.2.21





PVsyst - Rapport de simulation

Système isolé

Projet : école primaire messoudi bounab

Variante : 2020

Système isolé avec batteries

Puissance système : 4650 Wc

Boussada – Algérie



PVsyst V7.2.21

VC0, Simulé le :
03/06/23 12:05
avec v7.2.21

Projet: 2020

Variante: 2020

Résumé du projet

Site géographique		Situation		Paramètres du projet	
Boussada		Latitude	35.20 °N	Albédo	0.20
Algérie		Longitude	4.17 °E		
		Altitude	603 m		
		Fus. horaire	UTC		
Données météo					
boussada					
Meteonorm 8.0 (1991-2000), Sat=100 % - Synthétique					

Résumé du système

Système isolé		Système isolé avec batteries		Besoins de l'utilisateur	
Orientation plan capteurs		Ombrages proches		Consomm. domestique	
Plan fixe		Ombrages linéaires		Constants sur l'année	
Inclinaison/Azimut	40 / 0 °			Moyenne	16.5 kWh/Jour
Information système					
Champ PV					
Nombre de modules	10 unités	Pack de batteries		Pb-acide, scellée, plaques	
Pnom total	4650 Wc	Technologie		Nombre d'unités	36 unités
		Tension			48 V
		Capacité			1800 Ah

Résumé des résultats

Energie disponible	8055 kWh/an	Productible	1732 kWh/kWc/an	Indice perf. PR	61.80 %
Energie utilisée	6030 kWh/an			Fraction solaire (SF)	100.00 %

Table des matières

Résumé du projet et des résultats	2
Paramètres généraux, Caractéristiques du champ de capteurs, Pertes système	3
Définition des ombrages proches - Diagramme d'iso-ombages	4
Besoins de l'utilisateur	5
Résultats principaux	6
Diagramme des pertes	7
Graphiques spéciaux	8
Coût du système	9
Analyse financière	10

Chapitre III : RESULTAT DE SIMULATION



PVsyst V7.2.21

VC0, Simulé le :
03/06/23 12:05
avec v7.2.21

Projet: 2020

Variante: 2020

Paramètres généraux		
Système isolé	Système isolé avec batteries	
Orientation plan capteurs	Configuration des sheds	Modèles utilisés
Orientation		Transposition Perez
Plan fixe		Diffus Perez, Meteonorm
Inclinaison/Azimut 40 / 0 °		Circumsolaire séparément
Ombrages proches	Besoins de l'utilisateur	
Ombrages linéaires	Consomm. domestique	
	Constants sur l'année	
	Moyenne	16.5 kWh/Jour

Caractéristiques du champ de capteurs			
Module PV		Batterie	
Fabricant	PEIMAR	Fabricant	MASTER
Modèle	465 Wp 120 cells	Modèle	me lead
(Paramètres définis par l'utilisateur)		Technologie	Pb-acide, scellée, plaques
Puissance unitaire	465 Wc	Nombre d'unités	9 en parallèle x 4 en série
Nombre de modules PV	10 unités	Décharge : min. SOC	20.0 %
Nominale (STC)	4650 Wc	Energie stockée	71.0 kWh
Modules	5 Chaînes x 2 En série	Caractéristiques du banc de batteries	
Aux cond. de fonct. (50°C)		Tension	48 V
Pmpp	4207 Wc	Capacité nominale	1800 Ah (C10)
U mpp	63 V	Température	Fixée 20 °C
I mpp	67 A		
Régulateur		Seuils de régulation batterie	
Régulateur universel		Seuils de commande selon	Calcul SOC
Technologie	Convertisseur MPPT	Charge	SOC = 0.90 / 0.75
Coeff. de temp.	-5.0 mV/°C/Élém.	environ	52.7 / 50.2 V
Convertisseur		Décharge	SOC = 0.20 / 0.45
Efficacité maxi et EURO	97.0 / 95.0 %	environ	47.1 / 48.9 V
Puissance PV totale			
Nominale (STC)	4.65 kWc		
Total	10 modules		
Surface modules	21.5 m ²		
Surface cellule	19.9 m ²		

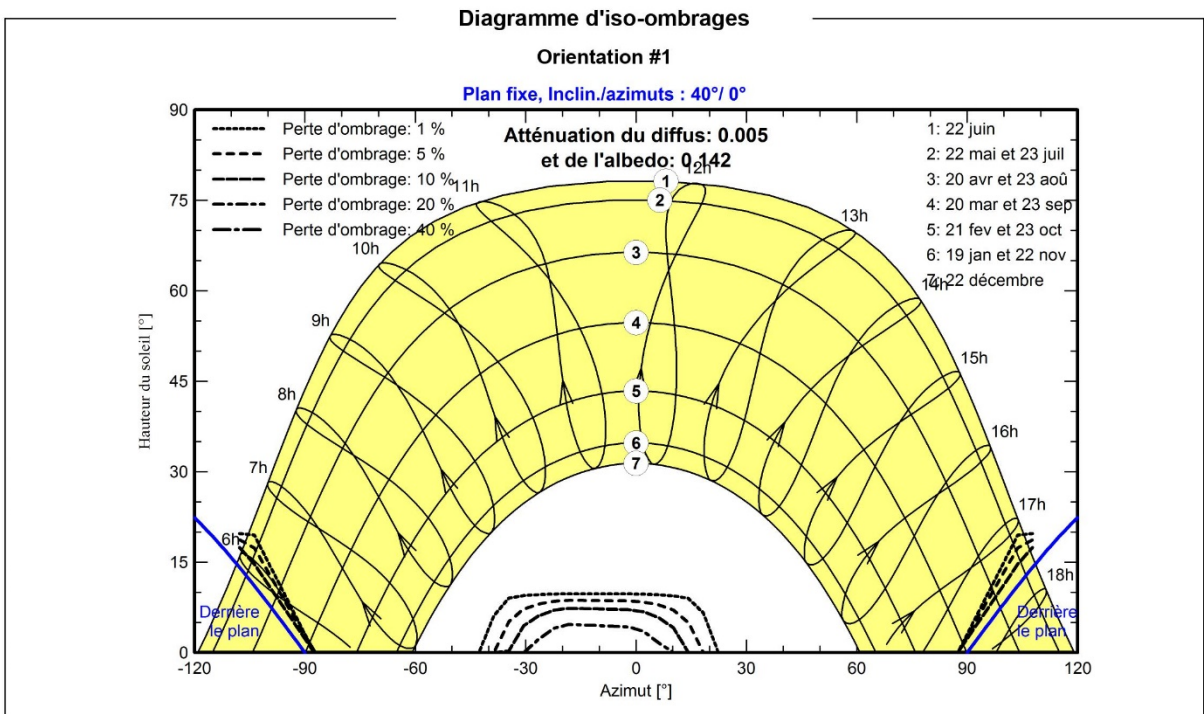
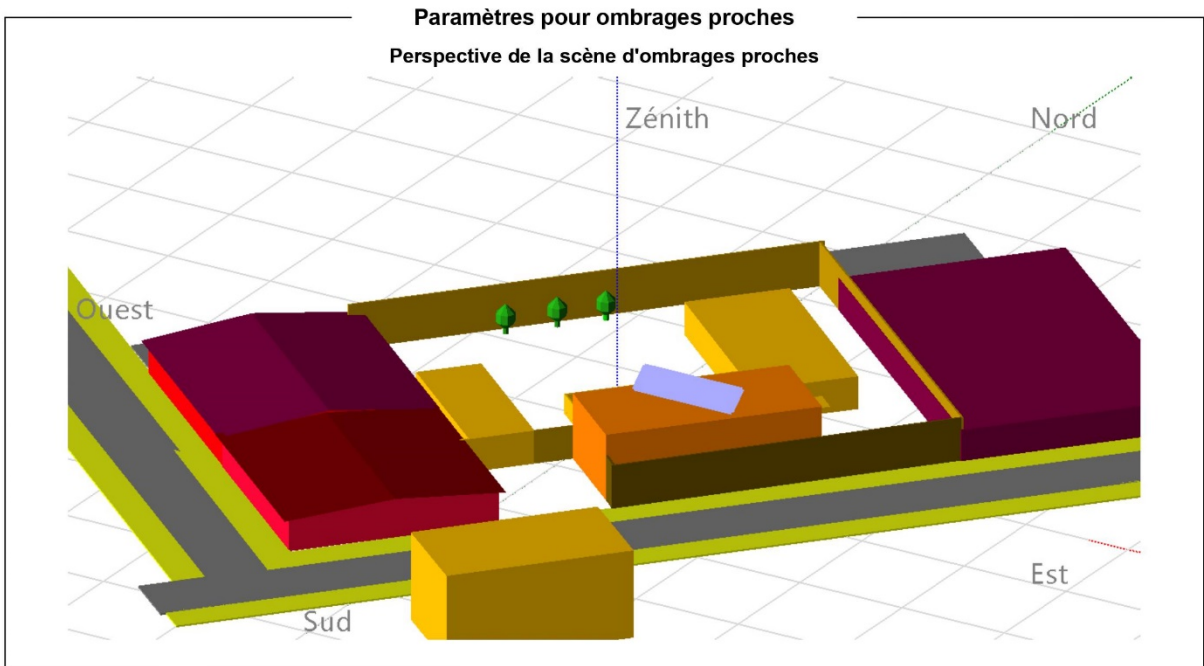
Pertes champ			
Fact. de pertes thermiques	Pertes câblage DC	Perte diode série	
Température modules selon l'irradiance	Rés. globale champ	16 mΩ	Chute de tension 0.7 V
Uc (const) 20.0 W/m ² K	Frac. pertes	1.5 % aux STC	Frac. pertes 1.0 % aux STC
Uv (vent) 0.0 W/m ² K/m/s			
Perte de qualité module	Pertes de mismatch modules	Perte de "mismatch" strings	
Frac. pertes -0.8 %	Frac. pertes	0.6 % au MPP	Frac. pertes 0.1 %
Facteur de perte IAM			
Effet d'incidence (IAM): Fresnel, anti-reflets, n(verre)=1.526, n(AR)=1.290			
0°	30°	50°	60°
1.000	0.999	0.987	0.962
70°	80°	85°	90°
0.892	0.816	0.681	0.440
0.000			



PVsyst V7.2.21
 VC0, Simulé le :
 03/06/23 12:05
 avec v7.2.21

Projet: 2020

Variante: 2020





PVsyst V7.2.21

VC0, Simulé le :
03/06/23 12:05
avec v7.2.21

Projet: 2020

Variante: 2020

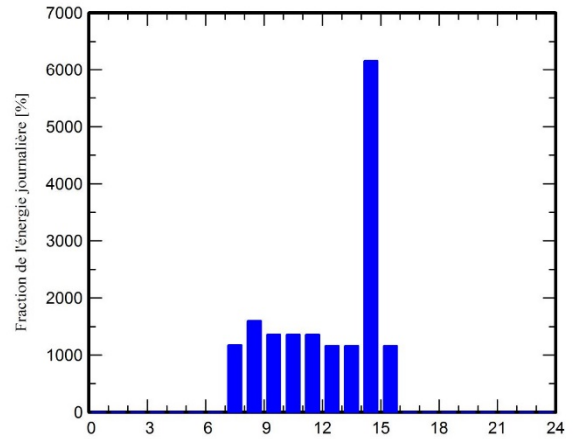
Besoins de l'utilisateur

Consomm. domestique, Constants sur l'année, moyenne = 16.5 kWh/jr

Valeurs annuelles

	Nombre	Puissance	Utilisation	Énergie
		W	Heure/jour	Wh/jour
Lampes (LED ou fluo)	58	20W/lampe	9.0	10440
PC	1	200W/app	4.0	800
Cloche	1	16W/app	1.0	16
imprimante	1	240W tot	1.0	240
reserve	5	1000W tot	1.0	5000
Consomm. de veille			24.0	24
Energie journalière totale				16520Wh/jour

Distribution horaire



Chapitre III : RESULTAT DE SIMULATION



Projet: 2020

Variante: 2020

PVsyst V7.2.21

VC0, Simulé le :
03/06/23 12:05
avec v7.2.21

Résultats principaux

Production du système

Energie disponible 8055 kWh/an
Energie utilisée 6030 kWh/an
En excès (inutilisée) 1534 kWh/an

Besoins non satisfaits

Fraction du temps 0.0 %
Energie manquante 0 kWh/an

Productible 1732 kWh/kWc/an
Indice de performance (PR) 61.80 %
Fraction solaire (SF) 100.00 %

Vieillessement batterie (Etat d'usure (SOW))

SOW cyclage 91.1 %
SOW statique 90.0 %
Durée de vie batterie 10.0 ans

Evaluation économique

Investissement

Global 1652490.00 DZD
Spécifique 355 DZD/Wc

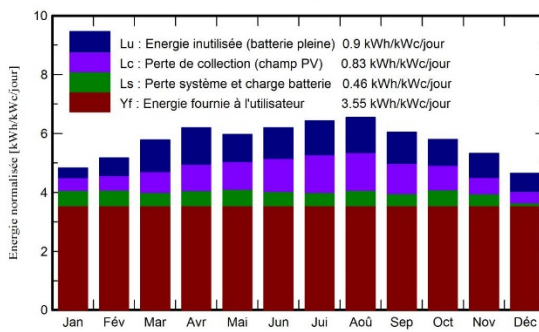
Coût annuel

Annuités 0.00 DZD/an
Coût exploit. 2000.00 DZD/an
Retour invest. 5.3 ans

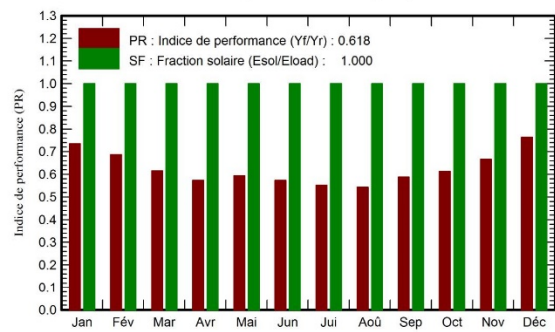
LCOE

Coût de l'énergie 0.33 DZD/kWh

Productions normalisées (par kWp installé)



Indice de performance (PR)



Bilans et résultats principaux

	GlobHor	GlobEff	E_Avail	EUnused	E_Miss	E_User	E_Load	SolFrac
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	ratio
Janvier	88.0	147.8	609.4	47.2	0.000	512.1	512.1	1.000
Février	101.1	142.4	587.6	77.4	0.000	462.6	462.6	1.000
Mars	147.6	175.6	706.9	154.2	0.000	512.1	512.1	1.000
Avril	178.7	180.8	714.0	171.0	0.000	495.6	495.6	1.000
Mai	202.1	179.7	698.2	132.1	0.000	512.1	512.1	1.000
Juin	214.0	180.0	683.7	144.1	0.000	495.6	495.6	1.000
Juillet	222.5	193.4	718.1	165.5	0.000	512.1	512.1	1.000
Août	204.0	197.5	733.6	170.4	0.000	512.1	512.1	1.000
Septembre	158.5	177.2	677.5	147.1	0.000	495.6	495.6	1.000
Octobre	131.2	176.5	691.0	125.0	0.000	512.1	512.1	1.000
Novembre	96.0	157.7	642.8	113.0	0.000	495.6	495.6	1.000
Décembre	81.4	142.3	592.5	87.5	0.000	512.1	512.1	1.000
Année	1825.2	2050.9	8055.4	1534.5	0.000	6029.8	6029.8	1.000

Légendes

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

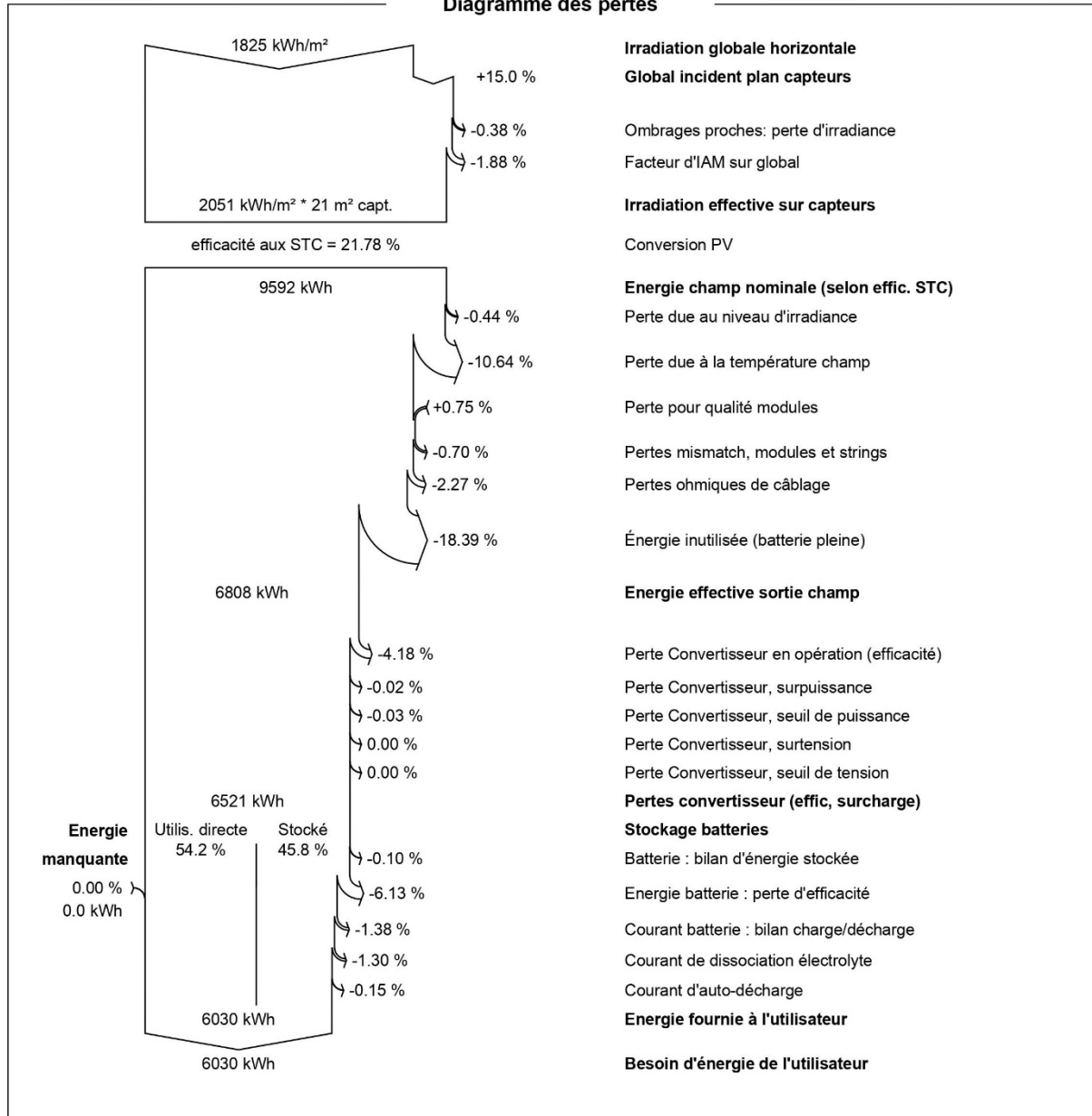


PVsyst V7.2.21
 VC0, Simulé le :
 03/06/23 12:05
 avec v7.2.21

Projet: 2020

Variante: 2020

Diagramme des pertes





PVsyst V7.2.21

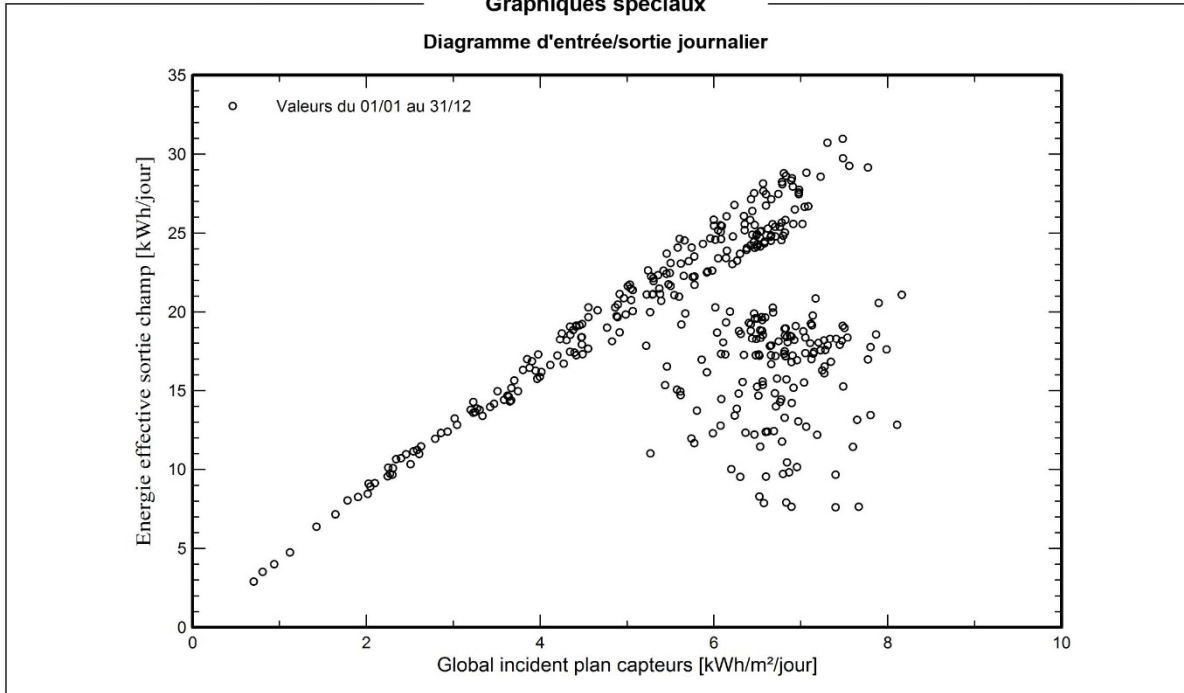
VC0, Simulé le :
03/06/23 12:05
avec v7.2.21

Projet: 2020

Variante: 2020

Graphiques spéciaux

Diagramme d'entrée/sortie journalier



Chapitre III : RESULTAT DE SIMULATION



PVsyst V7.2.21

VC0, Simulé le :
03/06/23 12:05
avec v7.2.21

Projet: 2020

Variante: 2020

Coût du système

Coûts d'installation

Élément	Quantité unités	Coût DZD	Total DZD
Modules PV			
465 Wp 120 cells	10	33550.00	335500.00
Supports des modules	10	5000.00	50000.00
Batteries	36	30000.00	1080000.00
Régulateurs			70000.00
Autres composants			
Accessoires, fixation, visserie	1	5000.00	5000.00
Câblage	1	5700.00	5700.00
Boîte de jonction	1	1550.00	1550.00
Parafoudre	1	4420.00	4420.00
onduleur			100320.00
Total			1652490.00
Dont amortissable			1540500.00

Coûts d'exploitation

Élément	Total DZD/an
Entretien	
Réparations	2000.00
Total (OPEX)	2000.00

Résumé du système

Coût total d'installation	1652490.00 DZD
Coûts d'exploitation	2000.00 DZD/an
Energie en excès (batterie pleine)	1534 kWh/an
Energie solaire utilisée	6030 kWh/an
Coût de l'énergie utilisée	8.624 DZD/kWh

Chapitre III : RESULTAT DE SIMULATION



PVsyst V7.2.21

VC0, Simulé le :
03/06/23 12:05
avec v7.2.21

Projet: 2020

Variante: 2020

Analyse financière

Période de simulation

Durée du projet 20 ans Année de démarrage 2024

Variation des revenus dans le temps

Inflation 0.00 %/an
Variation de la production (vieillessement) 0.00 %/an
Taux d'actualisation 0.00 %/an

Financement

Capitaux propres 1000000.00 DZD
Subventions 652490.00 DZD

Autoconsommation

Tarif de consommation 4.0000 DZD/kWh
Evolution du tarif +100.0 %/an

Retour sur investissement

Temps retour sur investissement 5.3 ans
Valeur actuelle nette (VAN) 25289804064.34 DZD
Retour sur investissement (ROI) 2528980.4 %

Résultats économiques détaillés (DZD)

	Coût exploit.	Eco. autoconso	Bénéf. cumul.	% amorti
2024	2000	24119	-977881	2.2 %
2025	2000	48239	-931642	6.8 %
2026	2000	96477	-837165	16.3 %
2027	2000	192954	-646211	35.4 %
2028	2000	385908	-262303	73.8 %
2029	2000	771816	507513	150.8 %
2030	2000	1543632	2049145	304.9 %
2031	2000	3087264	5134409	613.4 %
2032	2000	6174528	11306937	1230.7 %
2033	2000	12349057	23653994	2465.4 %
2034	2000	24698113	48350108	4935.0 %
2035	2000	49396227	97744335	9874.4 %
2036	2000	98792454	196534788	19753.5 %
2037	2000	197584908	394117696	39511.8 %
2038	2000	395169815	789285511	79028.6 %
2039	2000	790339631	1579623142	158062.3 %
2040	2000	1580679261	3160300404	316130.0 %
2041	2000	3161358523	6321656927	632265.7 %
2042	2000	6322717046	12644371973	1264537.2 %
2043	2000	12645434092	25289804064	2529080.4 %
Total	40000	25290844064	25289804064	2529080.4 %

PVs:
VC0,
03/0€
ave

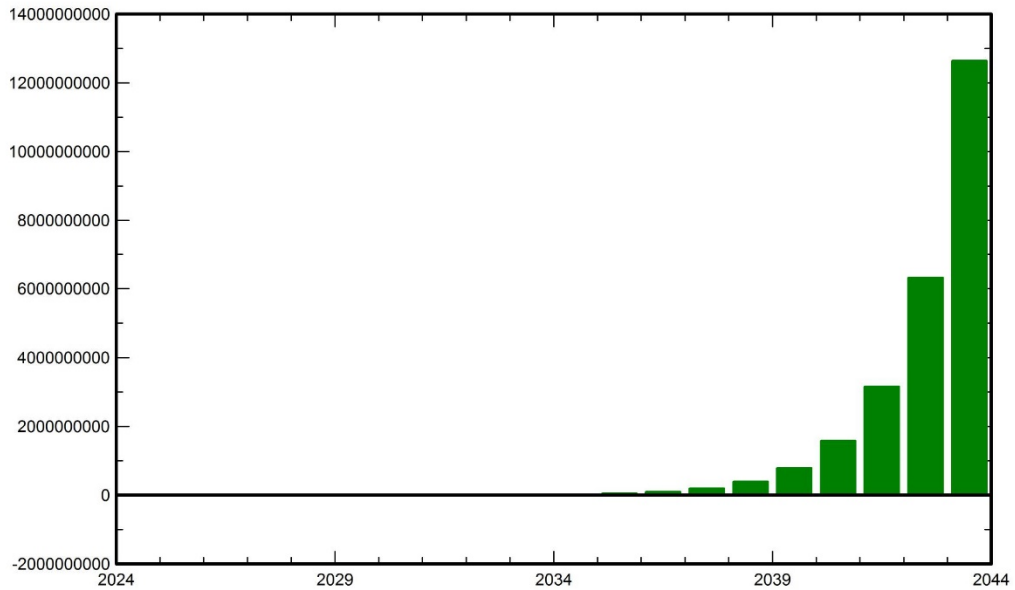


PVsyst V7.2.21
VC0, Simulé le :
03/06/23 12:05
avec v7.2.21

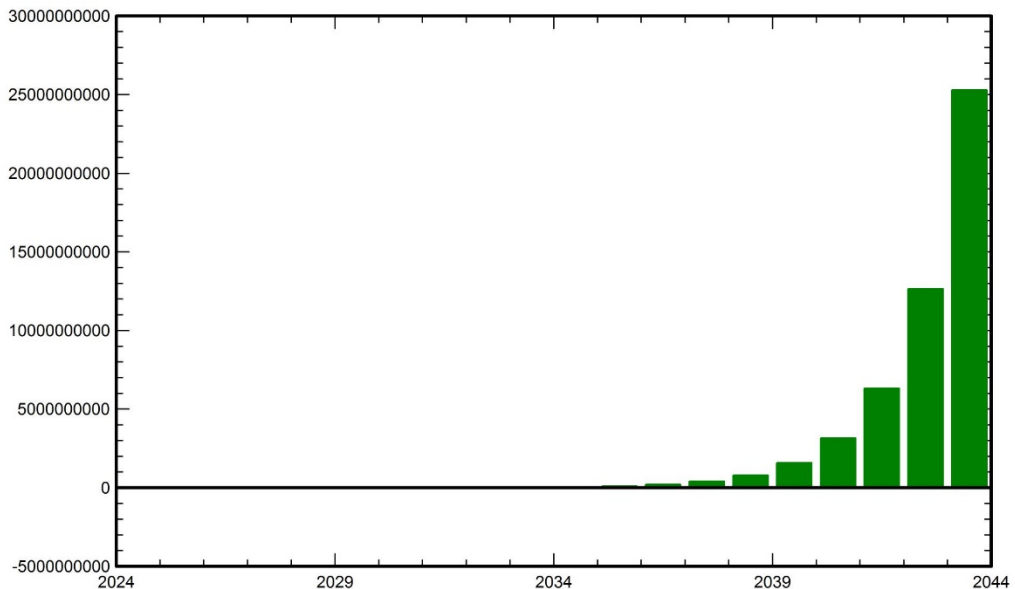
Projet: 2020

Variante: 2020

Analyse financière
Bénéfice annuel net (DZD)



Flux trésorerie cumulé (DZD)



III.4. Conclusion :

Après avoir dimensionné le système solaire photovoltaïque et ses composants en utilisant le logiciel de simulation PVsyst, nous pouvons conclure que l'installation PV que nous avons développé est capable de répondre aux besoins énergétiques de l'école primaire. Les résultats obtenus démontrent que la production d'énergie générée est suffisante pour couvrir la demande énergétique de l'établissement. Grâce à cette installation, nous avons réussi à fournir une source d'énergie renouvelable fiable et durable pour l'école, contribuant ainsi à sa transition vers une solution énergétique plus respectueuse de l'environnement.

CONCLUSION GENERALE

Nous avons réalisé une étude sur l'alimentation en énergie solaire pour la construction de l'école primaire Messoudi Bounab, en utilisant des batteries. Cette étude a porté sur les modèles de générateurs solaires photovoltaïques (PV) afin de concevoir et dimensionner les systèmes adaptés, incluant les batteries selon les besoins.

Pour déterminer les spécifications, nous avons pris en compte les besoins de consommation électrique du générateur, en choisissant des modules PV appropriés pour une conception optimale. La méthode utilisée pour estimer la taille du générateur s'est basée sur le profil de charge de consommation énergétique et sur les conditions du site. Cette méthode a été mise en œuvre à l'aide du logiciel PVsyst 7.2, spécifiquement conçu pour faciliter l'utilisation des systèmes PV.

Cette approche repose sur l'utilisation des données mensuelles de rayonnement solaire, que nous avons obtenues à partir des données du site (PVGIST), en prenant en compte la latitude et la longitude. Pour compléter le générateur PV, nous avons également fourni des orientations optimales et une inclinaison adaptée pour les panneaux photovoltaïques.

Les résultats de l'étude ont permis d'évaluer les pertes d'énergie dans chaque composant du système. Il convient de noter que ces résultats ont été ajustés en fonction des conditions de base, telles que le rayonnement solaire, la température ambiante et la consommation, afin d'optimiser l'utilisation de l'installation photovoltaïque. Les résultats obtenus après la conception démontrent la faisabilité d'installer et d'intégrer un système d'énergie solaire sur le toit du bâtiment de l'école primaire, avec des batteries, afin de couvrir l'ensemble de la consommation électrique nécessaire

Nomenclature

θ_i : Angle d'incidence (deg)
 β : Inclinaison de la surface réceptrice (deg)
 γ : Angle azimutal du plan récepteur (deg)
 h : Hauteur du soleil (deg)
 α : Azimut du soleil (deg)
 $I_b(\beta)$: Rayonnement direct sur plan incliné (W/m^2)
 I_b : Rayonnement direct sur plan horizontal (W/m^2)
 R_b : Rapport entre le rayonnement direct sur un plan incliné à celui du plan Horizontal
 I_{bn} : Rayonnement direct sur un plan normal (W/m^2)
 $I_r(\beta)$: Rayonnement réfléchi sur plan incliné (W/m^2)
 ρ : Valeur albédo du sol pour le rayonnement réfléchi
 ρ_b : Valeur albédo du sol pour le rayonnement direct
 ρ_d : Valeur albédo du sol pour le rayonnement diffus
 β : Inclinaison de la surface réceptrice (deg)
 I : Rayonnement reçu par la Terre (W/m^2)
 $I_G(\beta)$: Rayonnement Global sur plan incliné (W/m^2)
 $I_d(\beta)$: Rayonnement diffus sur plan incliné (W/m^2)
 U : tension totale de module PV (V)
 U_1 : tension de module PV nombre 1 (V)
 U_2 : tension de module PV nombre 2 (V)
 U_3 : tension de module PV nombre 3 (V)
 U_n : tension de module PV nombre n (V)
 I_1 : courant de module PV nombre 1 (A)
 I_2 : courant de module PV nombre 2 (A)
 I_3 : courant de module PV nombre 3 (A)
 I_n : courant de module PV nombre n (A)
 ICC : le courant de court-circuit de la cellule dépendant de l'ensoleillement et de la température
 I_{d1} : courant de saturation inverse de la diode1, (A)
 I_{d2} : courant de saturation inverse de la diode2, (A)
 K : (1.381×10^{-23} J/K) la constante de Boltzmann,
 T (K): la température effective de la cellule, (K)
 q : (1.602×10^{-19} C) la charge de l'électron,
 n_1 : le facteur de non idéalité de la jonction de la diode1,
 n_2 : le facteur de non idéalité de la jonction de la diode2,
 I : le courant fourni par la cellule, (A)
 V : la tension aux bornes de la cellule, (V)
 R_P : la résistance shunt caractérisant les courants de fuites de la jonction, (Ω)
 R_S : la résistance série représentant les diverses résistances des contacts et de connexions(Ω)
 T_c : la température absolue ; ($^{\circ}C$)
 q : la constante de charge d'un électron= 1.602×10^{-19} C ; I_{ph} : le photo courant ; (A)
 I_S : le courant de saturation inverse. (A)
 V_{co} : Tension à circuit ouvert (V)
 P_{max} : Puissance maximale du module (W)
 I_{max} : courant maximal du module (A)
 V_{max} : tension maximal du module (V)
FQ: facteur de qualité
FF : facteur dr forme

η_c : Rendement d'une cellule solaire (%)
 V_{groupe} : Tension du groupe PV (V)
 I_{groupe} : Courant du groupe PV (A)
 V_{cellule} : Tension de la cellule PV (V)
 I_{cellule} : Courant de la cellule PV (A)
 I_{pybasse} : Courant de by-pass (A)
 N_{cellule} : Nombre de cellules PV
 Z : Impédance (Ω)
 V_{string} : Tension de string PV (V)
 I_{string} : Courant de string PV (A)
 V_{module} : Tension de module PV (V)
 I_{module} : Courant du module PV (A)
 V_{champ} : Tension du champ PV (V)
 I_{champ} : Courant du champ PV (A)
 I_{shunt} : Courant shunt du module PV (A)
 N_{string} : Nombre de string PV
 P_t : Puissance totale(W)
 N : Nombre d'appareils
 P_i : Puissance d'un appareil(W)
 E : l'énergie électrique journalière consommée par les usagers (Wh / j) H : Le nombre d'heures (h)
 P : la puissance (w)
 P_c : la puissance crête du générateur photovoltaïque (WC)
 E_c : l'énergie journalière consommée (Wh)
 K : constant des pertes d'énergie (0.65- 0.75)
 I_r : irradiation (kW/m²/j)
 N_{pt} : le nombre totale des modules
 P_c : la puissance crête du panneau solaire PV(W)
 P_p : la puissance d'un panneau choisi (W)
 N_{pp} : le nombre des panneaux parallèles
 N_{ps} : le nombre des module séries
 V_{opt} : la tension d'un panneau choisi optimale (V)
 V_{sys} : la tension du système (V)
 C_t : capacité totale des batteries en (Ah)
 E_c : l'énergie journalière consommée (Wh)
 N_{ja} : nombre de jour d'autonomie (J)
 DOD : décharge maximale de la batterie (%)
 N_{bt} : nombre de batterie Totale
 C_b : capacité de la batterie choisie (Ah)
 N_{bs} : nombre des batteries série
 N_{bp} : nombre des batteries parallèle
 V_b : tension de la batterie choisie (V)
 $P_{\text{régula}}$: la puissance nominale du régulateur (W)
 $V_{\text{entré rég}}$: la tension maximale admissible du régulateur (V)
 $I_{\text{entré rég}}$: le courant d'entrée du régulateur (A)
 P_{ond} : la puissance fournie à l'onduleur (W)
 V_{ond} : La tension d'entrée d'onduleur (V)
 R : résistance de câble (Ω)
 I : le courant Passant dans le câble (A)

ΔU : la chute de tension (V)

ρ : la résistivité du câble : 0.000016 - 0.000017 pour le cuivre

L : la longueur des câbles (m)

S: section du câble (mm²)

V_{opt} : tension optimale du panneau PV (V)

I_{opt} : courant optimale du panneau PV (A)

V_{oc} : tension circuit ouvert de panneau PV (V)

I_{cc} : courant court circuit du panneau PV (A)

BIBLIOGRAPHIE

- [1] : A.ALI ELHABIB, D.MUSTAPHA «Dimensionnement d'une installation photovoltaïque (application entreprise ENAVA) » Université Dr. Tahar Moulay d e Saïda, 02/06/2016
- [2] : B.Abdelmadjid L.Ammar «Cellule solaire pour un environnement clean» UNIVERSITE Ahmed Draia-Adrar-Algérie, 2020
- [3] : <https://lenergie-solaire.net/qu-est-ce-que-energie-solaire/histoire>
- [4] : M.GAOUAS, k.IBN CHERIF «Etude d'une chaine de conversion de L'énergie solaire avec système De suiveur solaire» Université Larbi Ben Mhidi –Oum El Bouaghi, Juin 2021
- [5] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Nuage>
- [6] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Saison>
- [7] : H.GUEDAOURIA «Dimensionnement d'un système photovoltaïque pour alimenter le laboratoire LPDS au sien de l'université de Béchar» Université Tahri Mohammed Bechar,06/2017
- [8] : [Les trajectoires du soleil - Technique - L'astronomie - Observation et imagerie \(observetion-et-imagerie.fr\)](http://www.observetion-et-imagerie.fr)
- [9] : H.Mohammed El Amine,M.GHEZZAL «Etude et réalisation d'un système de production d'énergie électrique par des panneaux photovoltaïques» Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent
- [10] : I.ABBAD «Simulation de l'effet des paramètres climatiques (température, poussière et éclairement) sur le rendement d'une cellule solaire.» Université Larbi Ben M'Hidi / Oum El Bouaghi,06/2019
- [11] : N.ZEMRI,F.BEN AICHA, «Etude expérimentale d'un système de stockage de l'énergie solaire photovoltaïque» UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA, 2021
- [12] : S. ABOUDA, « Contribution à la commande des systèmes photovoltaïques: application aux systèmes de pompage » Thèse de doctorat, co-tutelle de l'Université de Reims Champagne-Ardenne et de l'Université de Sfax, Avril 2015
- [13] : M.TRAORE «GESTION DU SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE D'UNEALIMENTATION PRIVEE CONNECTE AU RESEAU» UNIVERSITY MOKHTAR BADJI-ANNABA,juin 2017
- [14] : M.MADANI«Implémentation d'un algorithme MPPT dans une FPGA on utilisant la carte ML605» UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA,2018
- [15] : M.Ghanem,M.Benhalilou«Simulation et modélisation d'une cellule photovoltaïque sous Matlab» Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahim - Bordj Bou Arreridj, juin 2022
- [16] : S.IMESSAOUDENE, CH.LACEB «Détection et Localisation de Défauts dans un Système Photovoltaïque» UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU,2013
- [17] : H.Belaïche «étude d'une installation en energie photovoltaïque integree au batiment : cas d'un laboratoire au cder» Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
- [18] : F. Zouache, « Etude de la concentration solaire sur les performances des systèmes photovoltaïques », l'université de Constantine 2009.
- [19] : KHENFER Amar «Etude et conception d'une architecture en vue de la détection de défauts dans une installation photovoltaïque» UNIVERSITE SETIF 1, 09/12/2014
- [20] : O.CHERIFI H.MADACHE «Etude technico-économique d'une installation photovoltaïque pour une carrière» UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU , 01 / 10 / 2013
- [21] <https://www.pvsyst.com/>

-
- [22] H.Guedaouria<<Dimensionnement d'un système photovoltaïque pour alimenter le laboratoire LPDS au sien de l'université de Béchar>> Université Tahri Mohammed Bechar,2017
- [23] S .MAHMOUDI,S.RABEHI << Etude de conception d'un système photovoltaïque autonome>> Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou , 2018
- [24] <https://knowledge-center.solaredge.com/sites/kc/files/designing-se-with-pvsyst.pdf>
- [25] https://www.google.dz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjQ_ oewua7UAhXFNhoKHbyoBokQFggpMAE&url=https%3A%2F%2Fdigilib.ttu.edu%2Fservices%2Fcopycat

Annexe



www.ifrisol.solar



- **MBB PERC MONOFACIAL MODULE**
High Performance Half-Cut Cells
With White or Black Backsheet
Photovoltaic Modules

- **KEY FEATURES**

- MBB 1/2 Cut Bifacial Cell Technology
- Lower Risk Of HotSpot
- Higher Power Output
- High Snow (5400Pa) and Wind Loads (2400Pa)
- Dual EI Inspection
- Excellent Low Light Performance
- Excellent PID Resistance

- **LINEAR HIGH PERFORMANCE GUARANTEED**

12 Years Product Warranty on **91.95%**
of the Nominal Performance

25 Years Linear Power Output Warranty on **84.80%**
of the Nominal Performance



According to Ifri-sol product and performance warranty

- **CERTIFICATIONS**

Management system TÜV-Certified
ISO 9001:2015: ID 011001317684
ISO 14001: 2015: ID 011041317684
ISO 45001:2018: ID 011131815622



CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.
© 2022 IFRI-SOL. All rights reserved.
For more information on IFRI-SOL products please visit www.ifrisol.solar. Contact us at contact@ifrisol.solar or call us at +216 73 381 853



Electrical Specification

Module Type	Nominal Power Pmp	Nominal Voltage Umpp	Nominal Current Imp	Open Circuit Voltage (Uoc)	Short Circuit Current (Isc)	Module Conversion Efficiency
IF-HWM455-120	455 Wp	34.93 V	13.04 A	41.64 V	13.93 A	21.19%
IF-HWM460-120	460 Wp	35.14 V	13.13 A	41.91 V	14.01 A	21.42%
IF-HWM465-120	465 Wp	35.35 V	13.22A	42.18 V	14.09 A	21.65%

Electrical Data At STC (STANDARD TEST CONDITIONS): 1000W/m² Irradiance, 25°C Cell Temperature, AM1.5g Spectrum According to EN 60904-3. Manufacturing Tolerance (Pmax,Voc,Isc) : ±3%

NMOT

Module Type	Nominal Power Pmp	Nominal Voltage Umpp	Nominal Current Imp	Open Circuit Voltage (Uoc)	Short Circuit Current (Isc)
IF-HWM455-120	339.9 Wp	32.56 V	10.42 A	39.24 V	11.24 A
IF-HWM460-120	344.7 Wp	32.78 V	10.47 A	39.46 V	11.31 A
IF-HWM465-120	349.7 Wp	33.01 V	10.56 A	39.73V	11.39 A

Electrical Data At NMOT: 800W/m² Irradiance, 20°C Ambient Temperature, 1m/s Wind Speed. Manufacturing Tolerance (Pmax,Voc,Isc) : ±3%

Design

Front Glass	3.2mm High transmission Low Iron Tempered Glass AR Coated
Encapsulant	Ethylene Vinyl Acetate (E.V.A)
Cell	MBB PERC Bifacial /182 mm X 91mm - 120Pcs
Backside	White or Black Composite Film
Frame	35 mm Anodized Aluminum Alloy Type 6063-T6 (Silver/Black)

Temperature Coefficients

voltage Uoc (β)	-0.26%/°C
Current Isc(α)	+0.048%/°C
Output Power(γ)	-0.35%/°C
NMOT	43±2°C

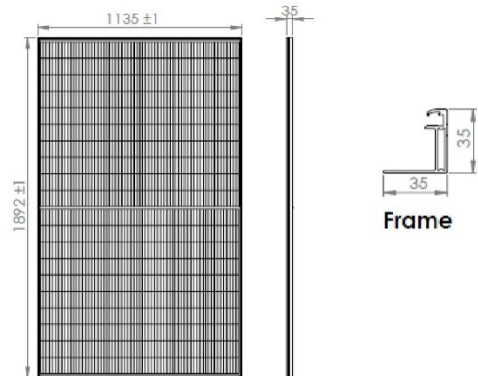
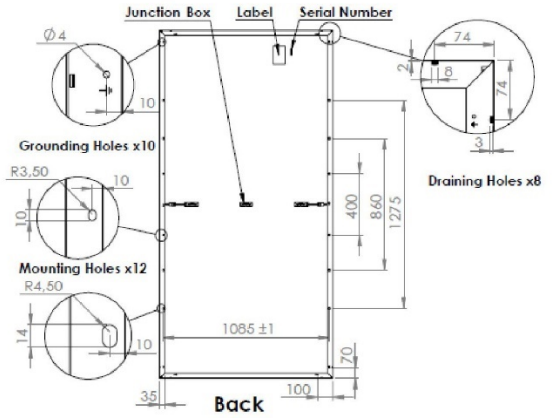
Operating conditions

Maximum System Voltage	1500 VDC
Maximum Series Fuse	25 A
Operating Temperature Range	From -40°C to 85°C
Mechanical Load test (Front/Back)	5400Pa/2400Pa

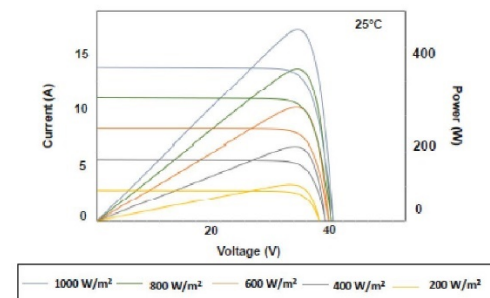
Power Connection

Junction Box	3xIP68 Junction Box With Bypass Diodes
Solar Cable	Length 300mm, 4mm ² Prefabricated with Latching Type Connectors
Safety Class	Class II (According to IEC 61140)

Technical drawing



Current-Voltage/Power-Voltage Curves, IF-HWM455-120



Mechanical Specification

Dimensions (LxWxH)	1892mm x 1135 mm x 35 mm (±2mm)
Weight	24.2 Kg

Packaging specification

Dimensions (LxWxH)	1920mm x 1150mm x 1265mm	Modules Qty per Carton	31	Modules Qty per Container 40'HC	744
--------------------	--------------------------	------------------------	----	---------------------------------	-----



CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.

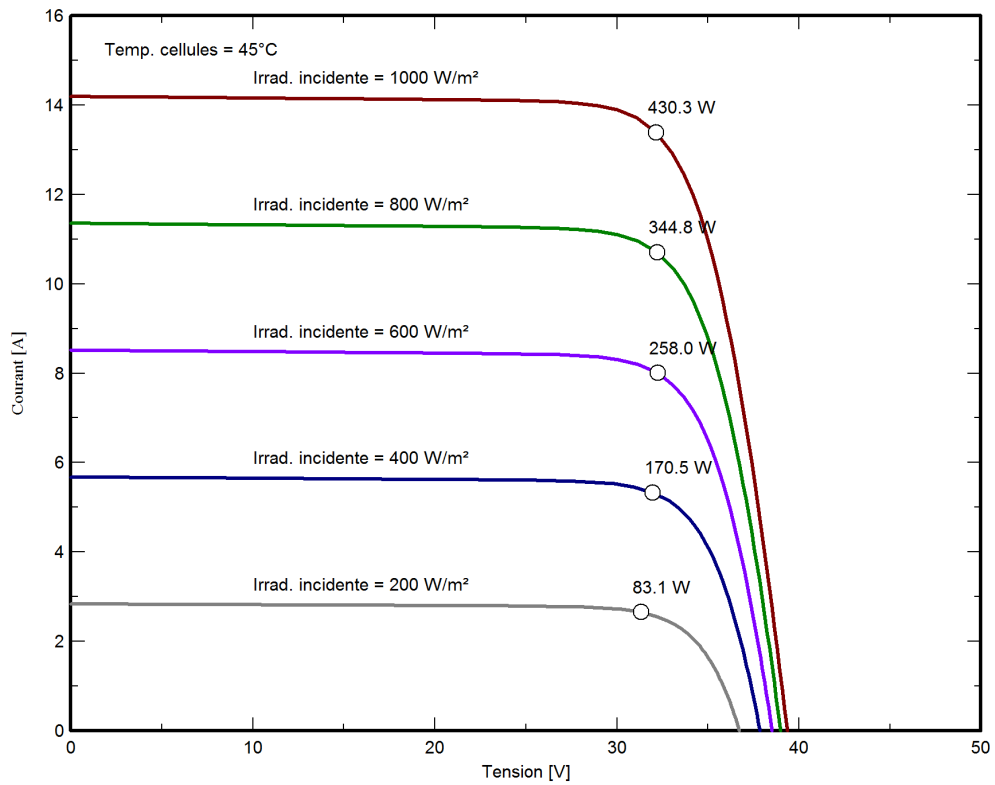
© 2022 IFRI-SOL. All rights reserved.

For more information on IFRI-SOL products please visit www.ifrisol.solar Contact us at contact@ifrisol.solar or call us at +216 73 381 853

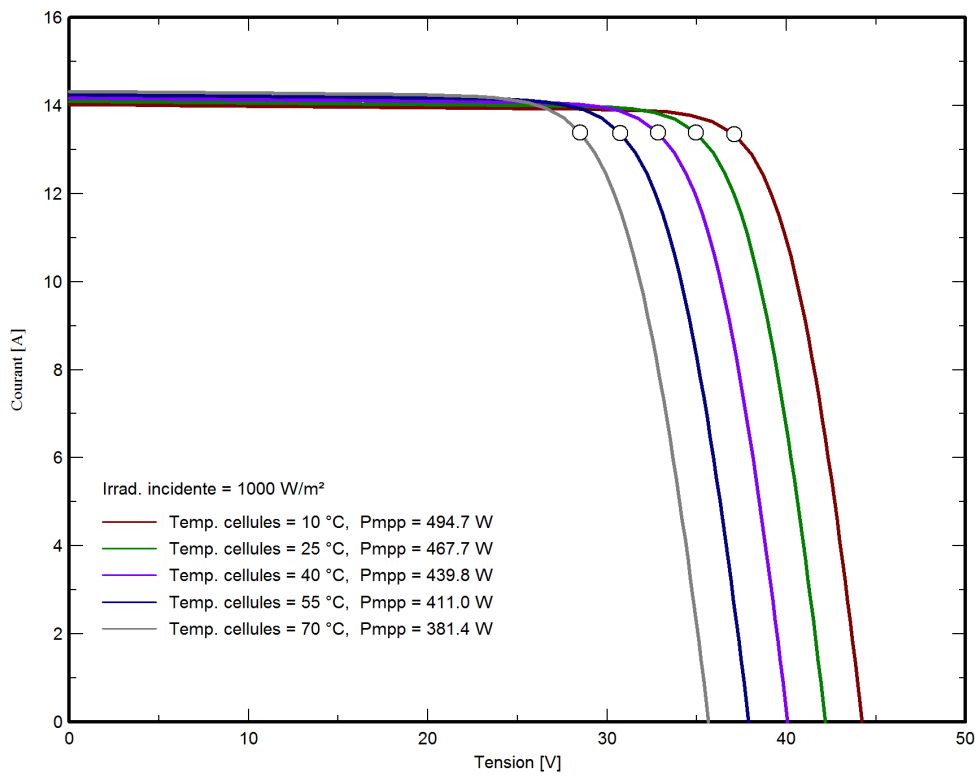
Figure 1 : page d'information de module PV utilise en projet à partir de catalogue

Caractéristique I-V de module :

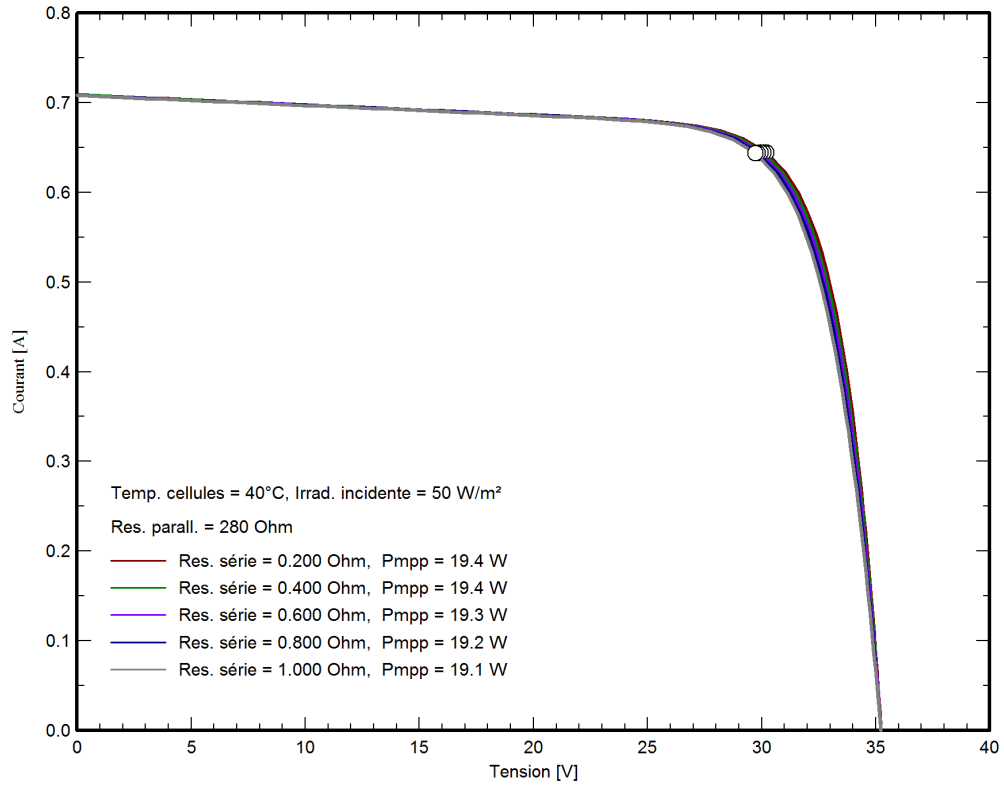
Module PV: PEIMAR, 465 Wp 120 cells



Module PV: PEIMAR, 465 Wp 120 cells



Module PV: PEIMAR, 465 Wp 120 cells



Module PV: PEIMAR, 465 Wp 120 cells

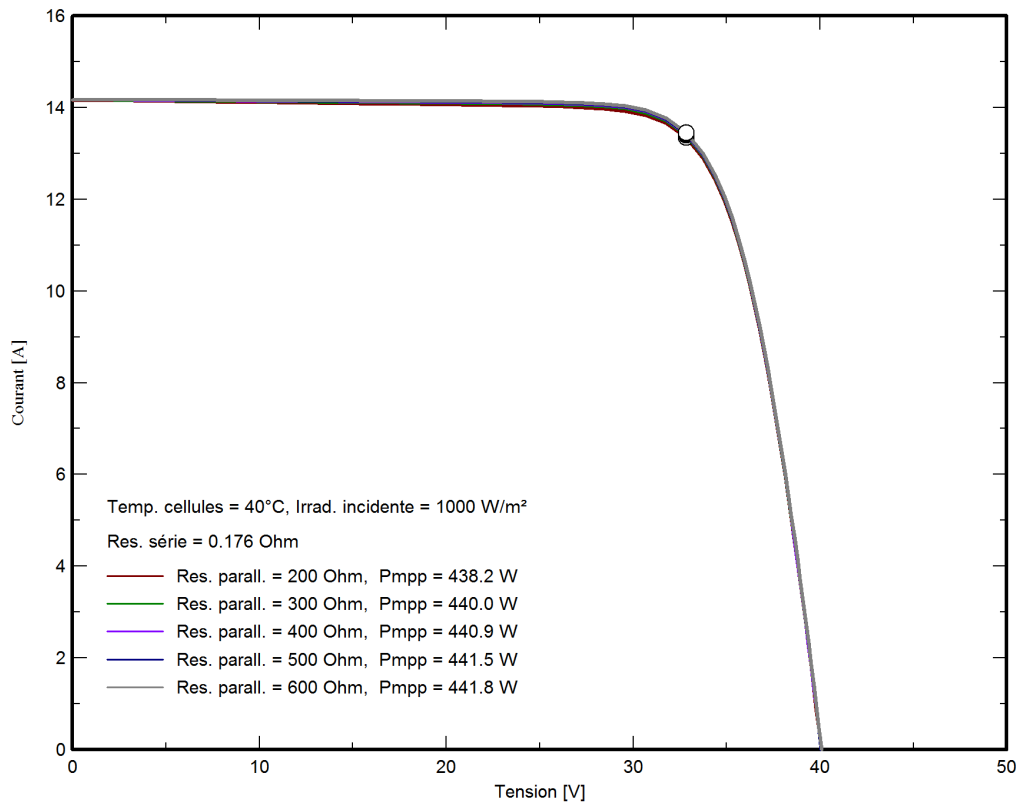
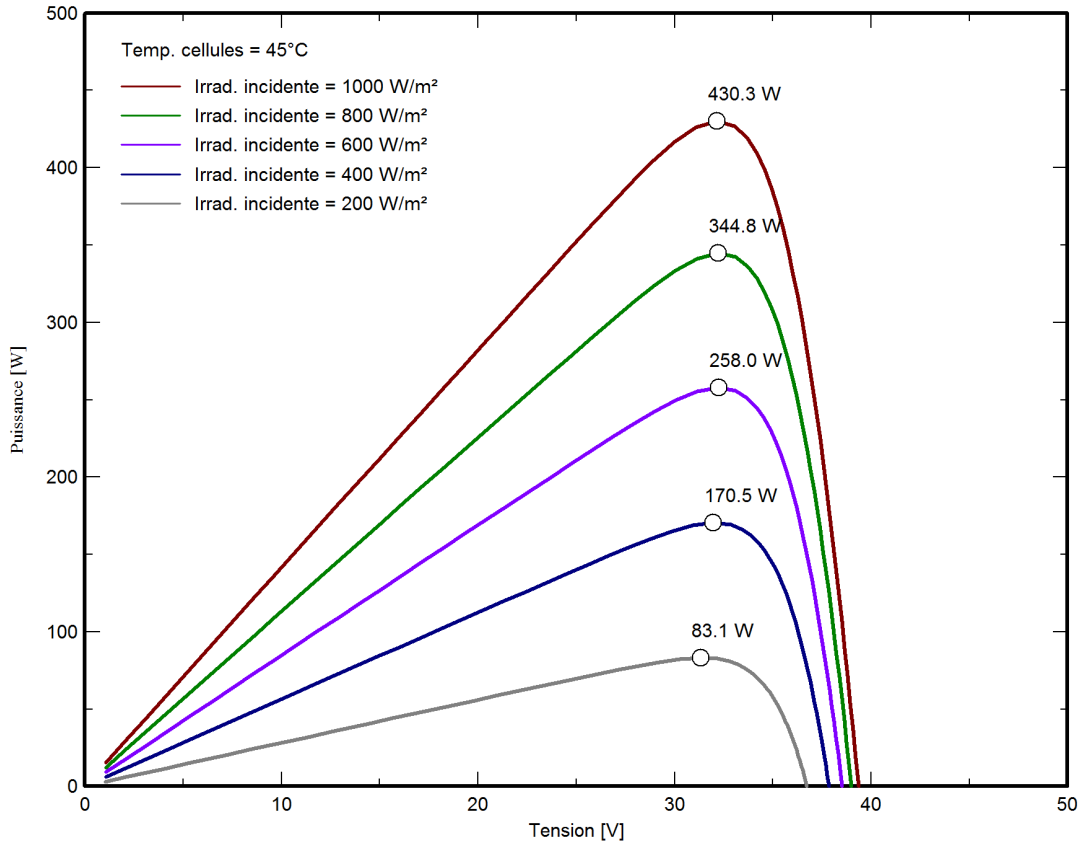


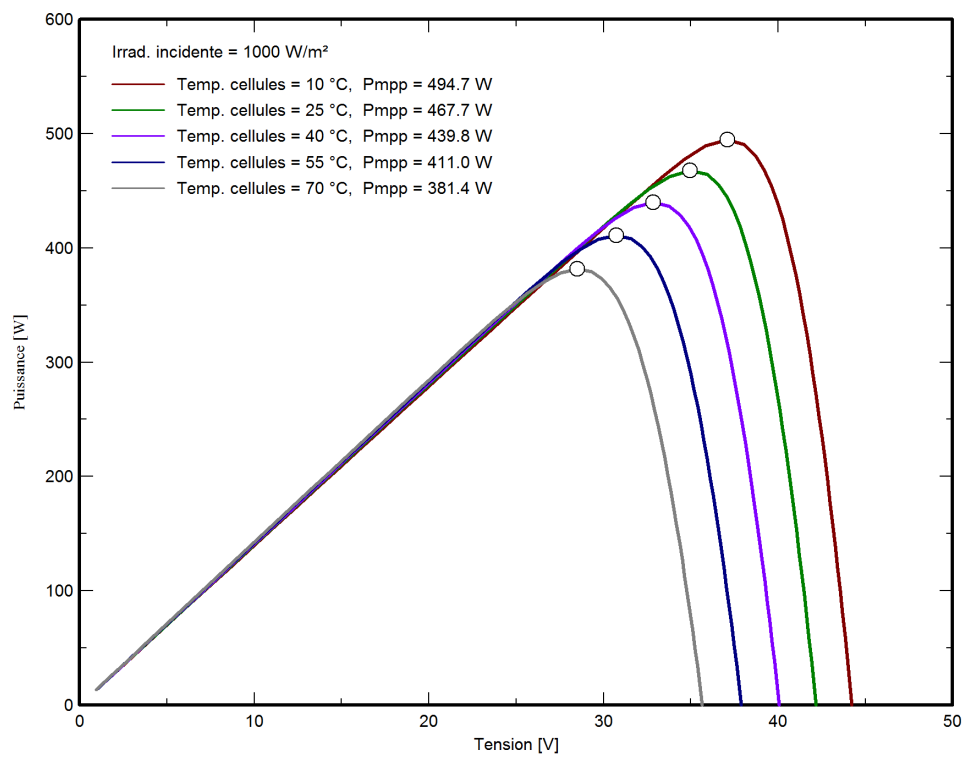
Figure 2 : Les caractéristiques I-V de module PV utilisé avec les changements de température, l'irradiance et les résistance série/parallèle.

Caractéristique (P – V) de module PV :

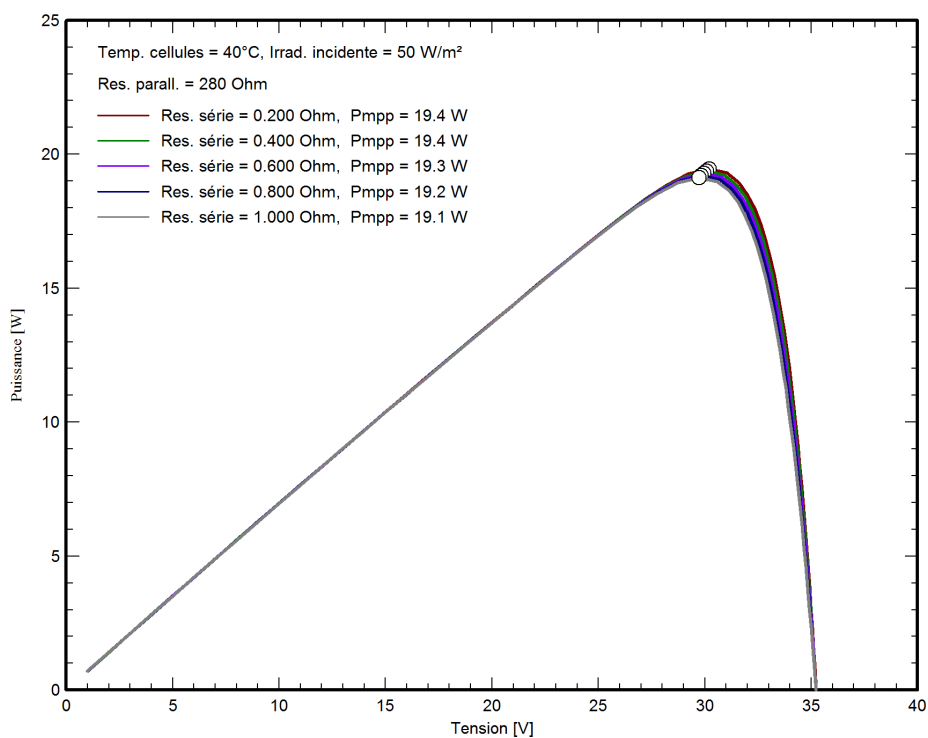
Module PV: PEIMAR, 465 Wp 120 cells



Module PV: PEIMAR, 465 Wp 120 cells



Module PV: PEIMAR, 465 Wp 120 cells



Module PV: PEIMAR, 465 Wp 120 cells

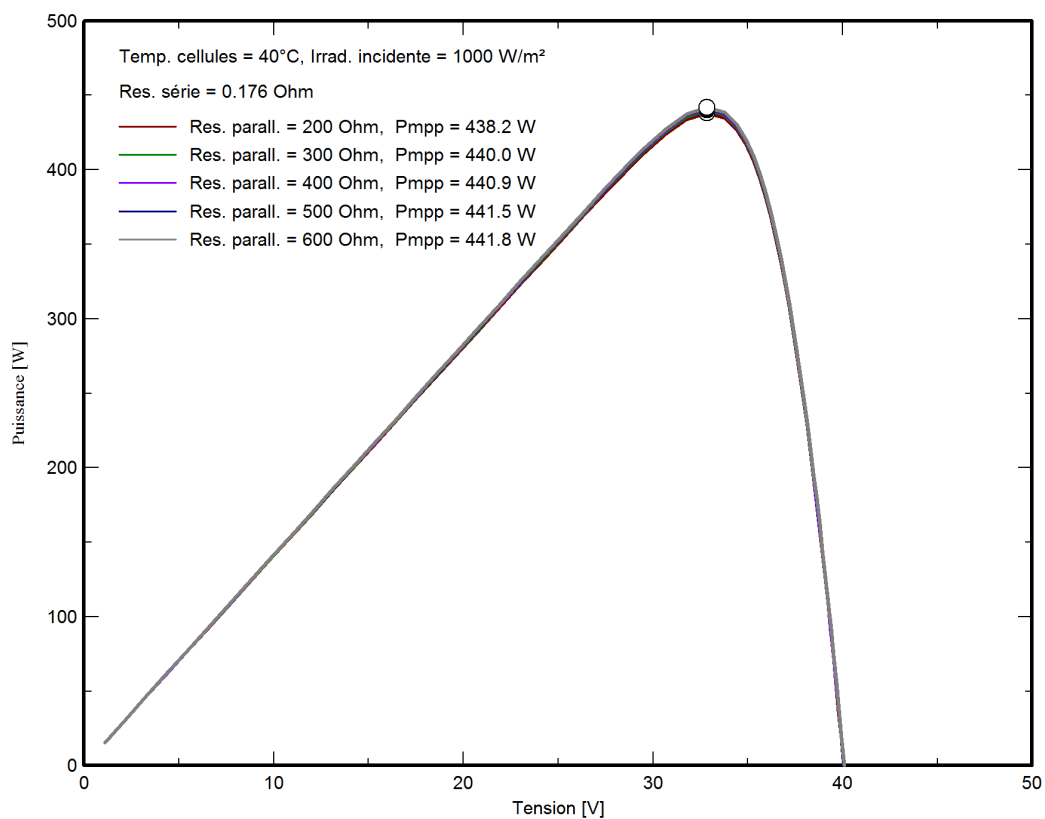
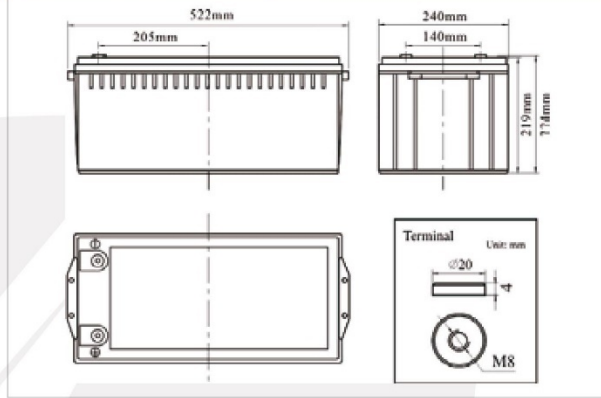


Figure 2 : Caractéristique P-V de module PV utilisé avec les changements de température, l'irradiance et les résistance série/parallèle.

Product Image



Product Dimensions



Cycle Service Life(25°C/77°F)

Characteristics

Nominal Voltage		12V
Nominal Capacity (10 hour rate)		200Ah
Capacity 25°C (77°F)	20 hour rate (11.0A)	220Ah
	5 hour rate (35.4A)	177Ah
	1 hour rate (132A)	132Ah
Internal Resistance	Full Charged Battery 25°C	≤2.5m Ω
Capacity affected by Temperature (10 hour)	40°C (104°F)	102%
	25°C (77°F)	100%
	0°C (32°F)	90%
	-15°C (5°F)	70%
Self-Discharge 25°C (77°F) Capacity	after 3 month storage	92%
	after 6 month storage	84%
	after 12 month storage	65%
Charge (Constant Voltage) 25°C (77°F)	Float	Initial Charging Current Less than 40A Voltage 13.6-13.8V
	Cycle	Initial Charging Current Less than 40A Voltage 14.4-14.9V

Packaging

Battery Dimensions	Length	522mm
	Width	240mm
	Height	219mm
	Total Height	224mm
Box Dimensions	Length	537mm
	Width	255mm
	Height	299mm
Quantity Per Box		1 PC per box
Net weight Per Cell		60.0 kg±500g
Net weight Per Box		60.0kg
Gross Weight		60.8kg

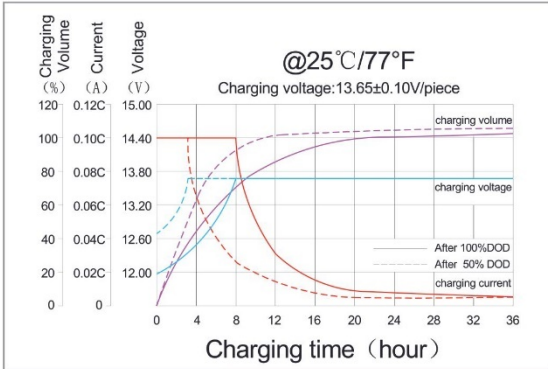
Discharge Constant Current per Cell (Amperes at 77°F 25°C)

F.V Time	5min	10 in	15 in	30 in	45 in	1h	2h	3h	5h	8h	10h	20h
1.60V	577.9	371.6	309.5	206.4	148.1	132.0	81.8	55.0	37.4	24.6	22.0	12.1
1.65V	567.4	364.8	303.9	202.6	145.4	129.6	80.4	54.0	36.7	24.2	21.6	11.9
1.70V	556.9	358.1	298.3	198.9	142.7	127.2	78.9	53.0	36.0	23.7	21.2	11.7
1.75V	546.4	351.3	292.7	195.1	140.0	124.8	77.4	52.0	35.4	23.3	20.8	11.4
1.80V	525.4	337.8	281.4	187.6	134.6	120.0	74.4	50.0	34.0	22.4	20.0	11.0

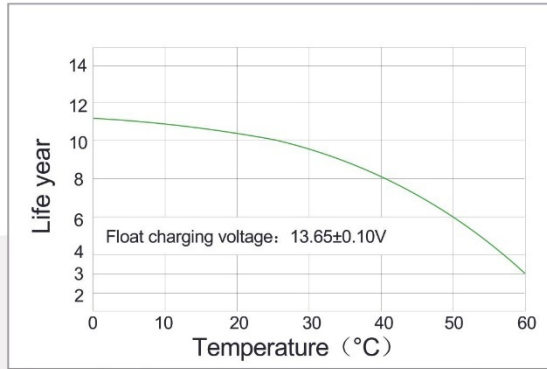
Discharge Constant Power per Cell (Watts at 77°F 25°C)

F.V Time	5min	10 in	15 in	30 in	45 in	1h	2h	3h	5h	8h	10h	20h
1.60V	1112.5	715.3	595.9	397.2	285.0	254.1	157.5	105.9	72.0	47.4	42.4	23.3
1.65V	1092.3	702.3	585.0	390.0	279.8	249.5	154.7	104.0	70.7	46.6	41.6	22.9
1.70V	1072.1	689.3	574.2	382.8	274.7	244.9	151.8	102.0	69.4	45.7	40.8	22.4
1.75V	1051.9	676.3	563.4	375.6	269.5	240.2	148.9	100.1	68.1	44.8	40.0	22.0
1.80V	1011.4	650.3	541.7	361.1	259.1	231.0	143.2	96.3	65.5	43.1	38.5	21.2

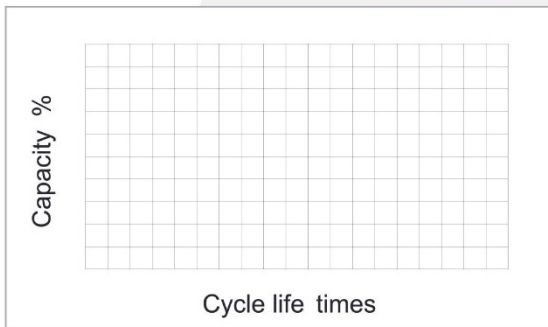
Charging characteristics



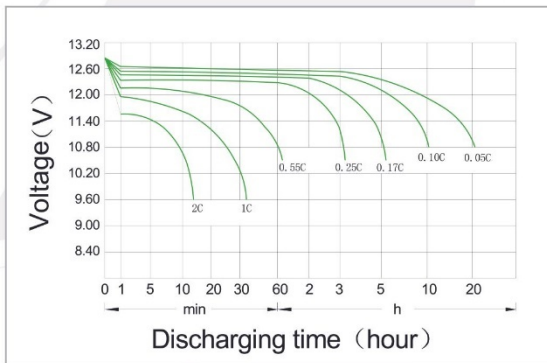
Temperature effect on float charging life



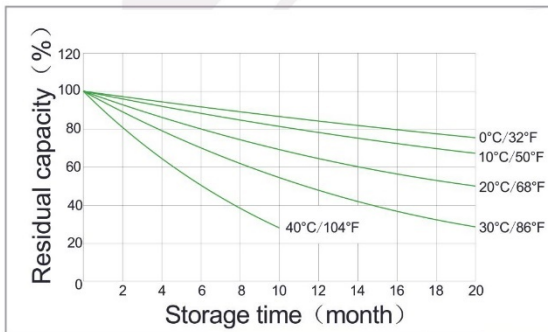
Cycle life vs. Depth of discharge(25°C)



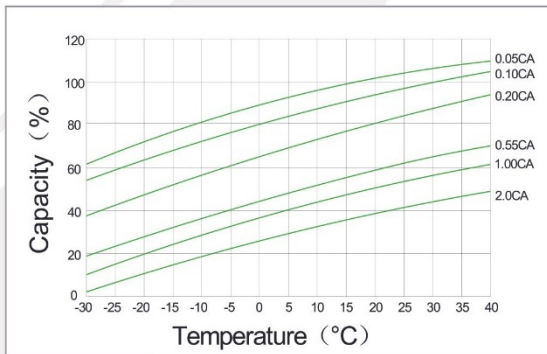
Discharge characteristics (25°C)



Temperature effect on battery self-discharge



Temperature effect on capacity



Battery Construction

Component	Positive plate	Negative plate	Container	Cover	Safety valve	Terminal	Separator	Electrolyte
Raw material	Lead dioxide	Lead	ABS	ABS	Si-Rubber	Copper	Fiberglass	Sulfuric acid

Overview

UPower-Hi series, an upgrade hybrid inverter charger that supports utility charging, oil generator charging, solar charging, utility output, inverter output, and energy management. To maximize solar energy utilization, users can choose energy sources according to actual needs and flexibly take the utility as a supplement in the hybrid system. This inverter charger provides high-quality, high-stability, and high-reliability electric energy to the users by improving the solar system's power supply efficiency.



Features

- Supports the battery mode or non-battery mode.
- Non-battery mode: charging with solar (Main) and utility (Assist) simultaneously.
- Surge and reverse connection protections to support the lithium battery system perfectly.
- Three charging modes: Solar only, Solar priority, Utility & Solar.
- Two AC output modes: Utility priority and Inverter priority.
- High tracking efficiency of MPPT no less than 99.5%.
- PFC technology achieves a high power factor of AC to DC charging and reduces grid capacity usage.
- Advanced SPWM technology and pure sine wave output.
- Customized charging current and discharging limited current.
- SOC with the self-learning feature is visible on LCD.
- 4.2 inch LCD to monitor and modify system parameters.
- Optional WiFi or GPRS Remote control by the RS485 isolated communication port.
- Optional BMS-Link port, which takes the charging and discharging control from BMS.



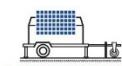
Solar Car



Solar Home



Solar Boat



Solar Power Generator

Technical Specifications

Item	UP3000-HM10022	UP3000-HM5042	UP5000-HM8042
Nominal battery voltage	24VDC		48VDC
Battery input voltage range	21.6 ~ 32VDC		43.2~64VDC
Max. battery charging current	100A	50A	80A
Inverter output			
Continuous output power	3000W@30°C	3000W@30°C	5000W@30°C
Max. surge power	6000W	6000W	8000W
Output voltage range	220VAC(-6%~+3%), 230VAC(-10%~+3%)		
Output frequency range	50/60Hz±0.2%		
Output wave	Pure Sine Wave		
Load power factor	0.2-1 (VA ≤ continuous output power)		
Distortion THD	THD ≤ 3% (Resistive load)		
80% rated output efficiency	92%	92%	92%
Max. Rated output efficiency	91%	90%	91%
Max. output efficiency	93%	93%	93%
Switch time	10ms(Switch from the utility output to the inverter output) 15ms(Switch from the inverter output to the utility output)		
Utility charging			
Utility input voltage range	176VAC~264VAC (Default) 90VAC~280VAC (Programmable)		
Utility input frequency range	40~65Hz		
Max. utility charge current	80A	40A	60A
Solar charging			
Max. PV open circuit voltage	450V(At minimum operating environment temperature) 395V(25°C)		500V(At minimum operating environment temperature)
MPPT voltage range	80~350V	80~350V	120~400V
Max. PV input power	4000W (Note: For the curve of Max. PV input power Vs. PV open-circuit voltage, see chapter 3.4 Operating mode for details.)		
Max. PV charging power	2875W	2875W	4000W
Max. PV charging current	100A	50A	80A
Equalize charging voltage	29.2V(AGM default)		
Boost charging voltage	28.8V(AGM default)		
Float charging voltage	27.6V(AGM default)		
Low voltage disconnect voltage	21.6V(AGM default)		
Tracking efficiency	≥99.5%		
Temperature compensate coefficient	-3mV/°C/2V (Default)		
General			
Surge current	60A	56A	95A
Zero load consumption	<1.6A(without PV and utility connection, turn on the load output)		
Standby current	<1.0A(without PV and utility connection, turn off the load output)		
Enclosure	IP30		
Relative humidity	< 95%(N.C.)		
Working environment temperature	-20 °C~50°C (When the working temperature reaches 30°C or above, the load power will be reduced appropriately; full load working is not supported)		
Storage environment	-25°C~60°C		
Mechanical Parameters			
Dimension(H x W x D)	642.5x381.6x149mm	607.5x381.6x149mm	642.5x381.6x149mm
Net Weight	19kg	15kg	19kg

Let the sun provide you with energy

Résumé :

Notre projet consistait en une étude technique économiquement approuvée visant à mettre en place un dispositif alimenté par une source d'électricité solaire photovoltaïque pour l'école primaire Messoudi Bounab localisée à Boussada M'sila. Elle vise principalement à exposer les différents systèmes photovoltaïques existants ainsi que leurs composants respectifs. Cette étude commence par un présentateur de plus d'un modèle de modèles mathématiques utilisés dans le cadre des systèmes photovoltaïques et définis avec une notion importante de charge et ses exigences pour le bâtiment scolaire concerné. Pour garantir une grande fiabilité dans nos résultats, nous utilisons des données réelles nécessaires auprès de bâtiments ayant déjà installé un système photovoltaïque similaire. Nous accordons une méthodologie efficace pour calculer les dimensions convenables du dispositif ainsi qu'un programme informatique automatisé pour déterminer la capacité optimale en puissance du générateur photovoltaïque. En effet, nous n'avons pas encore proposé cette solution permettant de réguler la consommation d'énergie pendant la journée afin d'optimiser l'efficacité du système.

Mots-clés : systèmes photovoltaïques, calcul des dimensions d'un système photovoltaïque, configuration de systèmes photovoltaïques.

ملخص:

مشروعنا يتكون من دراسة فنية معتمدة اقتصادياً تهدف إلى إنشاء نظام يعمل بالطاقة الشمسية الكهروضوئية لمدرسة مسعودي بوناب الابتدائية في بوسادة مسيلة. يهدف المشروع بشكل رئيسي إلى عرض مختلف الأنظمة الكهروضوئية الموجودة ومكوناتها الفردية. تبدأ هذه الدراسة بتقديم أكثر من نموذج رياضي استخدم في إطار الأنظمة الكهروضوئية ويتم تعريفه بمفهوم مهم للحمل ومتطلباته للمبنى المدرسي المعني. لضمان موثوقية عالية في نتائجنا، نستخدم البيانات الفعلية المطلوبة من المباني التي قامت بتهيئة نظام كهروضوئي مماثل بالفعل. نخصص منهجية فعالة لحساب الأبعاد الملائمة للنظام بالإضافة إلى برنامج حاسوبي آلي لتحديد القدرة الأمثل في الطاقة للمولد الكهروضوئي. في الواقع، لم نقترح بعد هذا الحل الذي يتيح ضبط استهلاك الطاقة خلال النهار لتحقيق أقصى كفاءة للنظام.

الكلمات المفتاحية: الأنظمة الكهروضوئية، حساب أبعاد النظام الكهروضوئي، تكوين الأنظمة الكهروضوئية.

Abstract:

Our project involved an economically approved technical study aimed at implementing a system powered by photovoltaic solar electricity for Messoudi Bounab Primary School located in Boussada M'sila. The main objective is to present the different existing photovoltaic systems along with their respective components.

The study begins by presenting multiple mathematical models used in the context of photovoltaic systems and defining the important concept of load and its requirements for the concerned school building. To ensure high reliability in our results, we use actual data obtained from buildings that have already installed a similar photovoltaic system.

We provide an effective methodology for calculating the suitable dimensions of the system, as well as an automated computer program to determine the optimal power capacity of the photovoltaic generator. However, we have not yet proposed a solution to regulate energy consumption during the day to optimize the system's efficiency.

Keywords: photovoltaic systems, calculation of photovoltaic system dimensions, configuration of photovoltaic systems.