

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Blida-1

Faculté de Technologie

Département des Énergies Renouvelables



Mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de Master

Option : Conversion Photovoltaïque

Thème

Vers une cité universitaire durable :

**Dimensionnement et étude technico-économique
d'un système photovoltaïque (on-grid) avec un
système d'appoint de groupe électrogène pour la cité
universitaire N°6 à Blida**

Travail réalisé par :

- SIAR Mohamed Abdel Djalil
- FERGANI Younes Abdelhamid

Soutenu devant le jury composé par :

Dr. BOUZAKI.M	M.C.A	USDB	Président
Dr. BENAHMED.M	M.C.A	USDB	Examineur
Monsieur DOUMAZ.T	M.A.A	USDB	Promoteur

Juin 2023

المخلص

يستكشف هذا المشروع لختام استعمال الطاقة الشمسية في سياق المباني السكنية. من خلال التركيز على الجوانب التقنية والاقتصادية والبيئية، يقدم هذا الدراسة تحليلاً مفصلاً لهذه التكنولوجيا النظيفة والمتجددة. يتناول المشروع المفاهيم الأساسية للطاقة المتجددة ويفحص الطاقة الشمسية وإشعاعها وتأثير الخلايا الشمسية.

كما يستكشف المشروع أجهزة التركيب الأساسية لنظام الطاقة الشمسية مثل المولدات ومحولات التيار وأنظمة التثبيت والحماية الكهربائية. يتم تناول تصميم نظام الطاقة الشمسية باعتبار الجوانب الجغرافية واتجاه الألواح الشمسية واحتياجات الطاقة واستخدام البرامج المتخصصة.

تقيم الدراسة الفنية والاقتصادية تكلفة التركيب وفترة استرداد الاستثمار والفوائد المحتملة لنظام الطاقة الشمسية. في الختام، يؤكد هذا المشروع على أهمية طاقة الطاقة الشمسية المتزايدة كحل مستدام لتلبية احتياجات الطاقة. يسلط الضوء على فرص تحسين الكفاءة ويقدم توصيات لتعزيز كفاءة الطاقة وتعزيز اعتماد هذه التكنولوجيا النظيفة في المباني السكنية.

الكلمات المفتاحية: الطاقة الشمسية، المولدات، محولات، الألواح الشمسية، مستدام

Résumé

Ce projet de fin d'études explore l'utilisation de l'énergie photovoltaïque dans le contexte des bâtiments résidentiels. En mettant l'accent sur les aspects techniques, économiques et environnementaux, l'étude fournit une analyse approfondie de cette technologie propre et renouvelable. Le projet aborde les notions fondamentales des énergies renouvelables et examine l'énergie solaire, son rayonnement et l'effet photovoltaïque.

Il étudie également les équipements essentiels d'une installation photovoltaïque tels que les générateurs, les onduleurs, les systèmes de pose et les protections électriques. Le dimensionnement du système photovoltaïque est abordé en tenant compte des aspects géographiques, de l'orientation des panneaux solaires, des besoins électriques et de l'utilisation des logiciels spécialisés.

L'étude technique et économique évalue les coûts de revient, l'amortissement du projet et les bénéfices potentiels de l'installation photovoltaïque. En conclusion, ce projet souligne l'importance croissante de l'énergie photovoltaïque en tant que solution durable pour répondre aux besoins énergétiques. Il met en évidence les opportunités d'optimisation et propose des recommandations pour maximiser l'efficacité énergétique et favoriser l'adoption de cette technologie propre dans les bâtiments résidentiels.

Mots clés : Energie photovoltaïque, générateurs, onduleurs, panneaux solaires, durable.

Abstract

This final-year project explores the use of solar energy in the context of residential buildings. With a focus on technical, economic, and environmental aspects, this study provides an in-depth analysis of this clean and renewable technology. The project covers fundamental concepts of renewable energy and examines solar energy, its radiation, and the photovoltaic effect.

It also explores the essential equipment of a photovoltaic installation such as generators, inverters, mounting systems, and electrical protections. The dimensioning of the photovoltaic system is addressed, taking into account geographical aspects, solar panel orientation, electricity needs, and the use of specialized software.

The technical and economic study evaluates installation costs, project amortization, and potential benefits of the photovoltaic system. In conclusion, this project highlights the growing importance of solar energy as a sustainable solution to meet energy needs. It emphasizes opportunities for optimization and provides recommendations to maximize energy efficiency and promote the adoption of this clean technology in residential buildings.

Keywords: solar energy, generators, inverters, solar panel, sustainable

Remerciements

D'abord merci a DIEU le Tout-puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail.

On tient à remercier Mr.DOUMAZ Toufik qui a accepté la charge de notre travail, et on lui exprime particulièrement toute notre reconnaissance pour nous avoir fait bénéficier de ses compétences scientifiques, ses qualités humaines et sa constante disponibilité.

Nous adressons également nos remerciements, à notre chef de département le Dr Mustapha BOUZAKI et à tous nos enseignants, qui nous ont donné les bases de la science. nous remercions très sincèrement le président et les membres du jury d'avoir bien voulu accepter de faire partie de la commission des jurys.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes.

DEDICACES

*Je dédie ce modeste travail ...
A la mémoire de ma grand-mère
A mes chers parents que dieu les garde et les Protège,
pour tous
leurs sacrifices, leurs tendresse, leurs soutien et
leurs prières tout au long de mes études,
A toute ma famille pour
leurs soutien tout au long de mon parcours,
A tous mes enseignants depuis le primaire jusqu'à ce jour,
A mon binôme Younes pour tous les moments que nous
avons
passé ensemble tout au long de la réalisation de ce projet,
A tous mes camarades et mes amis,
A tous ce que j'aime et qui m'aiment,
A tous ceux qui me connaissent de près ou de loin.
Merci d'être toujours là pour moi.*

Siar Mohamed Abdel Djalil

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie, que je dédie mon travail à mes parents, ma famille, pour. Tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

A tous mes amis et toute ma promotion pour leurs appuis et leur encouragement.

A tous ce qui de loin ou de près n'ont pas cessé de m'apporter leur soutien, pendant mes années d'études.

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infallible.

FERGANI Younes Abdelhamid

Résumé.....	I
Remerciement.....	II
Dédicaces.....	III
Sommaire.....	V
Liste des figures.....	VIII
Liste des tableaux.....	X
Nomenclature.....	XI
Introduction général.....	XII
Chapitre 1 : Généralités sur l'énergie photovoltaïque	
Introduction.....	2
1. Les énergies renouvelables.....	2
1.1. Les énergies renouvelables en Algérie.....	2
2. L'énergie solaire.....	3
3. Variation de l'énergie solaire	3
3.1. Effet de la nébulosité	3
3.2. Effet lié aux saisons.....	4
3.3. Hauteur maximale du soleil à midi vrai.....	5
4. Le rayonnement solaire	5
4.1. Les différents types du rayonnement solaire.....	6
4.1.1. Le rayonnement direct.....	6
4.1.2. Le rayonnement diffus.....	6
4.1.3. Le rayonnement réfléchi.....	6
4.2. Mesure du rayonnement solaire.....	6
4.2.1. Le pyranomètre.....	6
4.2.2. Le pyréliomètre.....	7
5. L'énergie photovoltaïque.....	7
5.1. Historique.....	7
5.2. L'effet photovoltaïque.....	8
6. Cellule photovoltaïque.....	8
6.1. Description de la cellule photovoltaïque.....	8
6.2. Structure d'une cellule photovoltaïque.....	8
6.3. Les Paramètres des cellules photovoltaïques.....	9
6.3.1. Courant de court-circuit, (ICC).....	9
6.3.2. Tension à circuit ouvert, (VCO).....	9
6.3.3. Puissance maximale (Pmax).....	9
6.3.4. Facteur d'idéalité (FQ).....	9
6.3.5. Facteur de forme (FF).....	10
6.3.6. Le rendement (η).....	10
7. Les technologies des cellules photovoltaïques.....	10
7.1. Les cellules à base de silicium monocristallin.....	10
7.2. Les cellules à base de silicium poly cristallin.....	10
7.3. Les cellules à base de silicium amorphe.....	10
7.4. Les cellules base organiques et plastiques.....	11
8. Influence de l'éclairement et de la température.....	11
8.1. Influence de l'éclairement.....	11
8.2. Influence de la température.....	12
9. Différentes configurations d'une installation photovoltaïque.....	12
9.1. Système autonome.....	13
9.2. Système raccordée au réseau.....	14
9.3. Système hybride.....	14
10. Avenages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque.....	15
Conclusion.....	15

Chapitre 2 : Composition d'une installation photovoltaïque

Introduction.....	16
1. Générateur photovoltaïque.....	16
2. Système de pose	17
2.1. Installation au sol.....	17
2.2. Intégration au bâti.....	18
2.3. Intégration sur le bâti.....	18
3. Onduleur réseau.....	19
3.1. Le principe de fonctionnement.....	20
3.2. La recherche du point de puissance maximal.....	21
3.3. La conversion DC/AC.....	22
3.4. Couplage découplage au réseau électrique.....	22
3.5. Les différents types d'onduleurs.....	23
4. Système de protection électrique.....	24
4.1. Protection courant continu.....	24
4.2. Protection courant alternatif.....	26
4.3. La mise à la terre.....	27
5. Compteur électrique (smart meeter).....	28
5.1. Le compteur d'achat d'énergie.....	28
6. Câblage électrique.....	28
6.1. Cable solaire.....	28
6.2. Connecteurs MC4.....	29
Conclusion.....	29

Chapitre 3 : Dimensionnement du système photovoltaïque

Introduction.....	31
1. Description du site.....	31
2. Gisement solaire local.....	31
3. Orientation angle d'inclinaison des panneaux solaires.....	32
3.1. L'orientation des modules PV.....	32
3.2. L'inclinaison des modules PV.....	32
4. Les besoins électriques.....	32
5. Dimensionnement analytique.....	33
5.1. Bilan des puissances.....	33
5.2. Puissance et le nombre d'onduleur.....	34
5.3. Puissance du champ photovoltaïque	35
5.4. Nombre des panneaux solaire.....	35
5.5. Ombrage créer par les panneaux.....	35
5.6. Calcule du contre poids en béton pour contreventer les panneaux.....	37
5.6.1. Force du vent de face.....	37
5.6.2. Force du vent par derrière.....	38
5.7. Raccordement des modules PV.....	39
5.7.1. Déterminer le nombre de panneaux en série.....	39
5.7.2. Déterminer le nombre de branches en parallèle.....	39
5.7.3. L'installation sur les blocs.....	39
5.7.4. L'installation sur le restaurant.....	40
5.8. Section des câbles.....	40
5.8.1. Bloc d'hébergement.....	40
5.8.2. Le restaurant.....	40
6. Dimensionnement avec logiciel (PVsys).....	41
6.1. Présentation de PVsyst.....	41
6.2. Caractéristique de notre site.....	41
6.2.1. Coordonnées géographiques.....	41
6.2.2. Paramètres du soleil.....	41

6.2.3. Données météorologiques du site.....	42
6.3. Inclinaison des panneaux.....	43
6.4. Nombre des panneaux et les onduleurs.....	43
6.5. L'auto consommation.....	44
6.6. La position des panneaux sur le toit.....	44
6.6.1. Sur les blocs d'hébergement.....	44
6.6.2. Sur le restaurant.....	45
6.7. Résultats de la simulation.....	45
6.7.1. Diagramme d'entrée/sortie journalière.....	46
6.7.2. Les productions normalisées.....	46
6.7.3. Bilan énergétique de la simulation.....	47
6.7.4. Diagramme des pertes annuelle.....	48
7. Système d'appoint.....	49
8. Calcule des caractéristiques éléments de protection électrique.....	49
8.1. Calibre du fusible pour les branches.....	49
8.2. Sectionneur DC.....	50
8.3. Parafoudre DC.....	50
8.4. Parafoudre AC.....	50
8.5. Disjoncteur différentiel DC.....	50
8.6. Disjoncteur différentiel AC.....	50
8.7. La mise à la terre.....	51
Conclusion.....	51
Chapitre 4 : Etude technique et économique du système PV	
Introduction.....	52
1. Coût de revient de l'installation.....	52
1.1. Devis quantitatif et estimatif de l'installation avec un équipement approvisionné localement.....	52
1.2. Devis quantitatif et estimatif de l'installation avec un équipement importé avec un type d'onduleur.....	53
1.3. Devis quantitatif et estimatif de l'installation avec un équipement importé avec deux types d'onduleur.....	54
2. Amortissement du projet.....	54
2.1. Estimation de la durée nécessaire pour amortir le projet.....	55
3. Le bénéfice.....	55
4. Perspectives.....	55
Conclusion.....	56
Conclusion générale.....	57
Bibliographie.....	58
Annexes A.....	60
Annexes B.....	72

LISTE DES FIGURES

Chapitre 1 : Généralités sur l'énergie photovoltaïque

Figure (I.1) : Objectifs du programme algérien des Energies Renouvelables.....	3
Figure (I.2) : L'effet de la météo sur le rayonnement.....	4
Figure (I.3) : Trajectoire annuelle du soleil en hémisphère nord.....	5
Figure (I.4) : Hauteur maximale du soleil à midi vrai.....	5
Figure (I.5) : Types du rayonnement solaire.....	6
Figure (I.6) : Le pyranomètre.....	7
Figure (I.7) : Le pyréliomètre.....	7
Figure (I.8) : Constitution d'une cellule photovoltaïque.....	8
Figure (I.9) : Evolution de la caractéristique $I= f(V)$ et $P= f(V)$	9
Figure (I.10) : Evolution de la caractéristique (I-V) (P-V) en fonction de l'éclairement.....	12
Figure (I.11) : Evolution de la caractéristique (I-V) (P-V) en fonction de la température.....	12
Figure (I.12) : représentation des différents composants d'une installation PV.....	13
Figure (I.13) : Système PV autonome.....	13
Figure (I.14) : Système PV raccordée au réseau.....	14
Figure (I.15) : Schéma de base d'un système solaire hybride.....	14

Chapitre 2 : Composition d'une installation

Figure (II.1) : Schéma de principe d'un système PV raccordé au réseau.....	17
Figure (II.2) : Système de pose au sol.....	17
Figure (II.3) : Installation intégrée au bâti.....	18
Figure (II.4) : Intégration sur le bâti.....	19
Figure (II.5) : Caractéristique d'un onduleur réseau.....	20
Figure (II.6) : Un onduleur réseau.....	20
Figure (II.7) : Principe de fonctionnement d'un onduleur réseau.....	21
Figure (II.8) : Organigramme de l'algorithme MPPT de la perturbation & observation.....	22
Figure (II.9) : Micro-onduleur.....	23
Figure (II.10) : Onduleur central.....	24
Figure (II.11) : Porte fusible.....	25
Figure (II.12) : Sectionneur.....	25
Figure (II.13) : Parafoudre DC.....	26
Figure (II.14) : La différence entre un disjoncteur et un interrupteur différentiel.....	26
Figure (II.15) : Parafoudre AC.....	27
Figure (II.16) : Principe de protection par coffre suivant UTE C15-712.....	27
Figure (II.17) : Connecteur MC4 mâle et femelle.....	29

Chapitre 3 : Dimensionnement du système PV

Figure (III.1) : Localisation géographique de la cité universitaire N°6.....	31
Figure (III.2) : Irradiation moyen sur un plan fixe de 2005 à 2020.....	32
Figure (III.3) : Les caractéristiques des panneaux PV de la mark IFISOL.....	35
Figure (III.4) : Les dimensions du module installé.....	35
Figure (III.5) : Longueur d'ombre.....	36
Figure (III.6) : La distribution de la force du vent de face.....	37
Figure (III.7) : La distribution de la force du vent par derrière.....	38
Figure (III.8) : données d'entrée de l'onduleur « MID 25KTL3-X1 ».....	39
Figure (III.9) : données d'entrée de l'onduleur « MAX 125KTL3-X/LV ».....	39
Figure (III.10) : Coordonnées du site étudiant.....	41
Figure (III.11) : Trajectoire du soleil à Blida.....	42
Figure (III.12) : Données météorologiques du site à étudier.....	42
Figure (III.13) : Orientation et inclinaison des panneaux.....	43
Figure (III.14) : Système PV.....	43

Figure (III.15) : La consommation mensuelle de la cité.....	44
Figure (III.16) : position des modules PV sur toit un bloc d'hébergement.....	45
Figure (III.17) : position des modules PV sur le toit du restaurant.....	45
Figure (III.18) : Diagramme d'entrée/sortie journalier de notre système.....	46
Figure (III.19) : Les productions normalisées annuelle.....	46
Figure (III.20) : Diagramme des pertes du système annuelle.....	48
Figure (III.21) : Groupe électrogène de la cité universitaire.....	49

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre 1

Tableau (I.1) : Différents types de cellules photovoltaïques.....	11
---	----

Chapitre 2

Tableau (II.1) : Fiche technique connecteur MC4.....	29
--	----

Chapitre 3

Tableau (III.1) : Bilan du besoin de l'administration.....	33
Tableau (III.2) : Bilan du besoin de restaurant.....	33
Tableau (III.3) : Bilan du besoin du foyer et la salle polyvalente.....	33
Tableau (III.4) : Bilan du besoin d'un bloc de cinq étages.....	34
Tableau (III.5) : Bilan du besoin d'un bloc de six étages.....	34
Tableau (III.6) : Bilan énergétique de la simulation.....	47

Chapitre 4

Tableau (IV.1) : Devis quantitatif et estimatif de l'installation avec un équipement approvisionné localement.....	52
Tableau (IV.2) : Devis quantitatif et estimatif de l'installation avec un équipement importé avec un types d'onduleur.....	53
Tableau (IV.3) : Devis quantitatif et estimatif de l'installation avec un équipement importé avec deux types d'onduleur.....	54

NOMENCLATURE

Symbole	Définition
AC	Courant alternatif
Cnet	Cout entrant annuelle net
Ct	Cout totale
DC	Courant continu
Dm	Force de la masse
Dv	Force du vent
δ	Déclinaison ($^{\circ}$)
ε	Chute de tension
FF	Facteur de forme
GPV	Générateur photovoltaïque
h	Hauteur du soleil ($^{\circ}$)
Icc	Courant de court-circuit (A)
I _{max}	Courant maximum(A)
I _{ph}	Photo- courant (A)
I _s	Courant de saturation (A)
M _b	Masse du béton
M _p	Masse du panneaux
MPPT	Point de la puissance maximale
η	Rendement
ω	L'angle horaire ($^{\circ}$)
P	Puissance en watt
P _c	Puissance de champ P _v
φ	Latitude du lieu ($^{\circ}$)
P _{max}	Puissance maximale (W)
ρ	Résistivité ($\Omega.m$)
PV	Photovoltaïque
V	Vitesse du vent
V _b	Volume du béton
V _{co}	Tension de circuit ouvert (V)
V _{max}	Tension maximale (V)

INTRODUCTION GENERALE

Depuis la nuit des temps, l'être humain à utiliser sans cesse de l'énergie sous différentes formes dans toutes ses activités journalières, tel que se déplacer, se réchauffer, s'éclairer, ou se nourrir. Actuellement dans notre monde industrialisé, la principale énergie utilisée pour alimenter nos foyers et faire fonctionner et évoluer les différentes industries c'est beau et bien l'énergie électrique.

Cette dernière est produite généralement à partir des combustibles de différentes natures, s'agissant des énergies fossiles, telle que le pétrole, le charbon, le gaz, et l'énergie nucléaire (uranium). Mais au rythme de la consommation actuelle des ressources énergétiques, les gisements d'énergies fossiles et nucléaires vont certainement s'épuiser à cause de leur exploitation excessive sachant que leurs stocks sont limités, nonobstant les dégâts engendrés par l'exploitation de ces énergies, tel que le réchauffement climatique, on note que la production électrique représente 40% des émissions mondiale de CO₂, la situation est autant plus alarmante due l'augmentation de la demande énergétique. Vu la situation actuelle, une alternative énergétique nouvelle, renouvelable et propre s'avère incontournable.

Les systèmes photovoltaïques (PV) sont devenus une solution populaire et durable pour la production d'énergie électrique à partir de la lumière du soleil. Le dimensionnement approprié d'un système PV est essentiel pour assurer son efficacité, sa fiabilité et sa rentabilité. Le dimensionnement des systèmes PV implique la détermination de la taille optimale des composants du système, tels que les panneaux solaires, les onduleurs, les batteries de stockage et d'autres composants connexes, en fonction des besoins énergétiques spécifiques de l'application visée.

Le dimensionnement des systèmes PV nécessite de prendre en compte plusieurs facteurs clés, notamment la demande d'énergie, la localisation géographique, l'orientation et l'inclinaison des panneaux solaires, l'efficacité des composants, les conditions météorologiques, la disponibilité de l'ensoleillement, et les contraintes budgétaires. Une approche correcte de dimensionnement permet d'optimiser la performance du système, de maximiser la production d'énergie solaire, de minimiser les coûts d'investissement et d'exploitation, et de garantir une durée de vie utile satisfaisante du système.

Quelques exemples des derniers projets de dimensionnement au niveau nationale et internationale. En 2022 Reza Fachrizal et al en dimensionner une station de recharge PV des véhicules électrique avec des systèmes de recharge intelligents en tenant compte de l'autoconsommation et de l'équilibre d'autosuffisance [30]. Dans la même année KHAMAL Ahmed Dhiya Edine Anis et SOUILAH Abdelkrim en fait un dimensionnement et Etude technico-économique d'un système photovoltaïque autonome pour l'alimentation électrique d'une école (CEM) à Bordj Bou Arreridj [31].

Ce mémoire est réparti en quatre chapitres, dans le premier chapitre nous allons exposer un état de l'art sur les énergies renouvelables, l'énergie photovoltaïque et ses types de systèmes d'exploitation le deuxième chapitre sera consacré sur la composition des installations PV et ces équipements, le troisième chapitre va aborder le dimensionnement du system photovoltaïque et le dernier chapitre est l'étude technique économique du projet.

CHAPITRE 1

GENERALITES SUR L'ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE

Introduction

L'électricité solaire est une importante source d'énergie renouvelable, qui peut être une alternative aux autres sources classiques afin de satisfaire les larges besoins d'énergie dans le futur.

Cette énergie trouve tout son avantage dans les applications de petite et moyenne consommation dans les régions isolées et loin des lignes du réseau de distribution électrique [1]

1. Les énergies renouvelables :

Les énergies renouvelables se positionnent comme une solution adéquate à l'épuisement des ressources d'énergies fossiles, et qui peut couvrir la demande mondiale en énergie électrique tout en préservant notre environnement. Elles sont issues des éléments naturels : le soleil, le vent, les chutes d'eau, les marées, la géothermie, et la croissance des végétaux... On les qualifie d'énergies "flux", leurs exploitations n'engendrent pas ou peu de déchets et d'émissions polluants. Ce sont les énergies de l'avenir. [2]

1.1. Les énergies renouvelables en Algérie :

L'augmentation du coût des énergies classiques d'une part, et la limitation de leurs ressources d'autre part, font que l'énergie renouvelable devient de plus en plus une solution prometteuse avec plusieurs avantages tel que l'abondance, l'absence de toute pollution et la disponibilité en plus ou moins grandes quantités en tout point du globe terrestre.

Actuellement, on assiste à un regain d'intérêt pour les installations utilisant l'énergie solaire, surtout pour les applications sur des sites isolés. [3]

L'Algérie est l'un des pays à fort potentiel des énergies renouvelables, avec une capacité nationale d'électricité qui dépasse les 56.74 TWh avec 0.45 TWh créée seulement pour les énergies renouvelables (en 2012) [9], particulièrement l'énergie solaire photovoltaïque, car l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara), et l'énergie reçue annuellement sur une surface horizontale de 1m² est près de 3 KWh/m² au nord et dépasse 5,6 KWh/ m² au Grand Sud [4].

L'Algérie s'engage donc avec une grande volonté sur la voie des énergies renouvelables afin d'apporter des solutions durables aux défis environnementaux et aux problématiques de préservation des ressources énergétiques d'origines fossiles [5].

Ainsi, un programme très ambitieux est envisagé pour développer les énergies renouvelables durant la période 2015-2030, il consiste à installer une capacité de production totale de 22000 MW, et le solaire photovoltaïque sera la principale source de production d'énergie propre car il représentera 62% de la capacité totale projetée à 2030 [5].

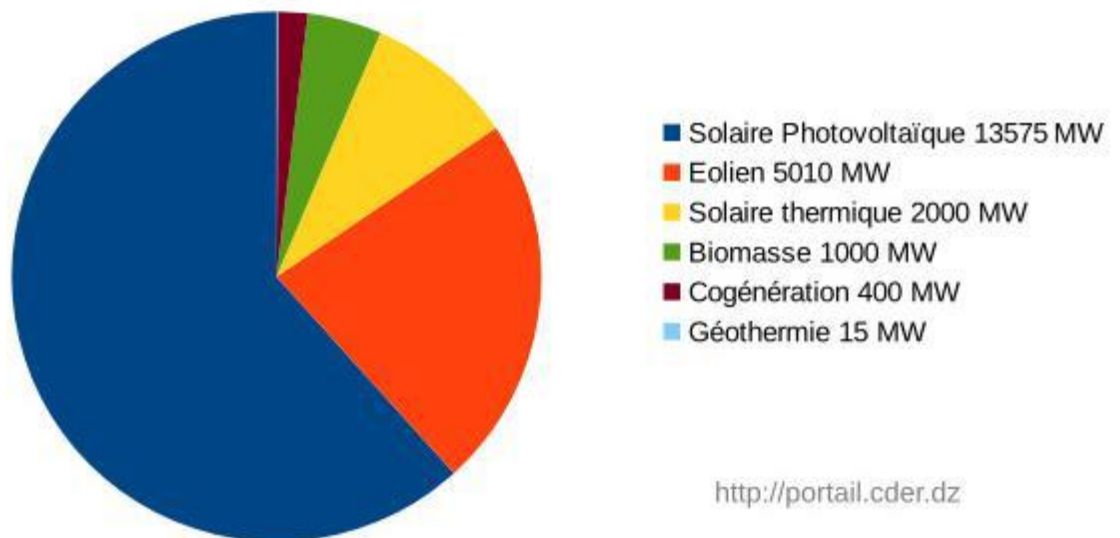


Figure (I.1) : Objectifs du programme algérien des Energies Renouvelables [5]

2. **L'énergie solaire :** C'est l'énergie fournie par les rayons du soleil, plusieurs technologies transforment cette énergie en une forme électrique ou thermique que nous pourrions utiliser directement. C'est le cas des cellules photovoltaïques qui transforment la lumière du soleil directement en énergie électrique, ainsi que des collecteurs solaires qui permettent de chauffer l'eau des habitations par exemple, et les concentrateurs solaires qui utilisent des miroirs pour concentrer les rayons du soleil et générer une chaleur intense, transformant l'eau en vapeur et produisant de l'électricité par le biais d'un matériel adéquat. [6]

3. Variation de l'énergie solaire :

3.1.Effet de la nébulosité :

En météorologie, un nuage est une masse visible constituée initialement d'une grande quantité de gouttelettes d'eau (parfois de cristaux de glace associés à des aérosols chimiques ou des minéraux) en suspension dans l'atmosphère au-dessus de la surface d'une planète. L'aspect d'un nuage dépend de la lumière qu'il reçoit, de la nature, de la dimension, du nombre et de la répartition des particules qui le constituent. Les gouttelettes d'eau d'un nuage proviennent de la condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air. La quantité maximale de vapeur d'eau (gaz invisible) qui peut être contenue dans une masse d'air est fonction de la température : plus l'air est chaud, plus il peut contenir de vapeur d'eau.[7] Un exemple d'un système plus détaillé est montré sur la Figure ci-dessous

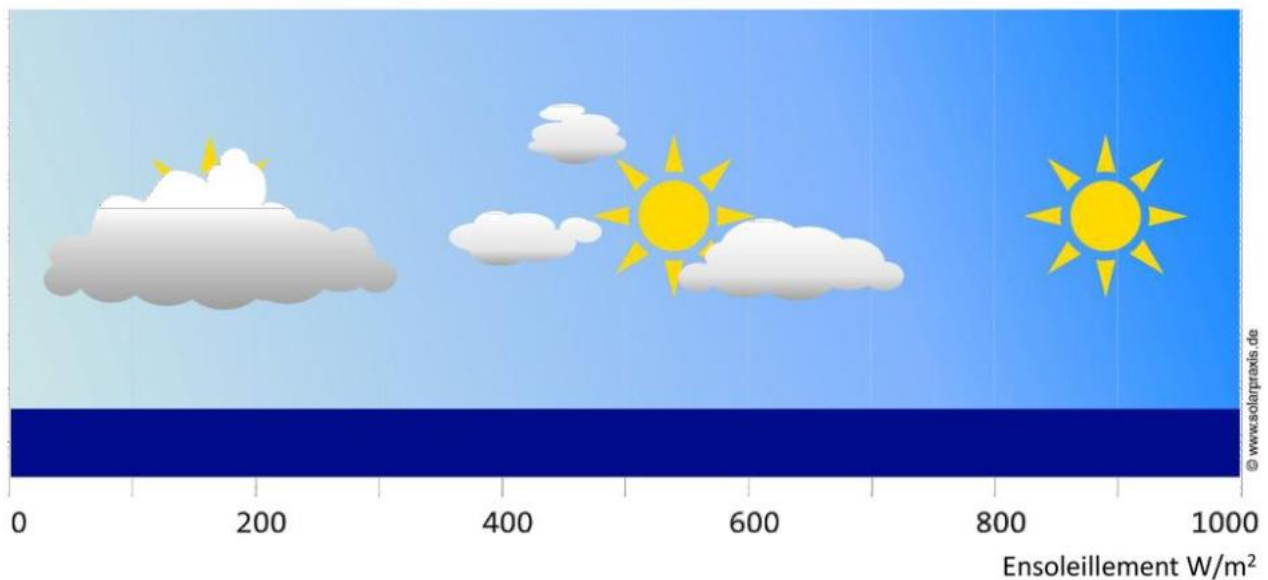


Figure (I.2) : L'effet de la météo sur le rayonnement

3.2.Effet lié aux saisons :

Une saison est une période de l'année qui observe une relative constance du climat et de la température. D'un point de vue astronomique, une saison correspond à l'intervalle de temps durant lequel la Terre occupe une portion de l'espace de sa révolution (rotation) autour du soleil. C'est l'inclinaison de l'axe des pôles, combinée à la révolution de la terre autour du soleil, qui fait qu'il se produit une alternance des saisons ; qui proviennent de la variation d'ensoleillement induite par l'orientation changeante vis-à-vis du rayonnement solaire. Elles correspondent aux périodes qui séparent le passage de la terre à certains points de son orbite ou, réciproquement, du soleil à certains points de la sphère céleste, et que la mécanique céleste désigne par les équinoxes et les solstices. Pour ces raisons, à tout moment, les saisons astronomiques de l'hémisphère nord et de l'hémisphère sud sont diamétralement opposées [8]

L'énergie incidente du soleil subit des variations le long de l'année, causées principalement par la clarté du ciel (rayonnement direct), ou diffus par les nuages, ainsi que la distance proche ou lointaine du sol.

La terre tourne autour du soleil en décrivant une ellipse de faible excentricité (Période : 365 jours et ¼). Déclinaison solaire δ : angle entre la direction terre - soleil et le plan équatorial [9].

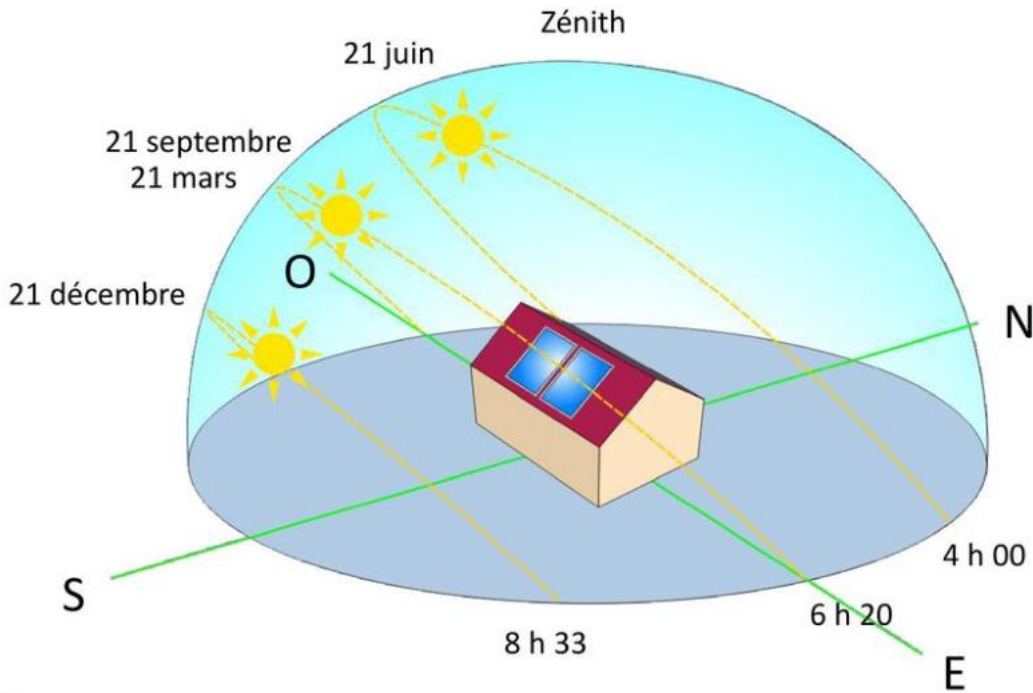


Figure (I.3) : Trajectoire annuelle du soleil en hémisphère nord

3.3. Hauteur maximale de soleil à midi vrai :

La hauteur du Soleil est souvent assimilée à une longueur alors qu'elle désigne, en astronomie, l'angle que fait la direction de visée du Soleil avec le plan horizontal. Le Soleil se lève toujours à l'est et se couche toujours à l'ouest, dans l'hémisphère sud comme dans l'hémisphère nord. Mais la différence, c'est qu'il est vers le sud à midi dans l'hémisphère nord, et vers le nord à midi dans l'hémisphère sud [10] comme présenté par la Figure (I.4). H_{max} : hauteur du soleil à midi vrai Φ : latitude du lieu

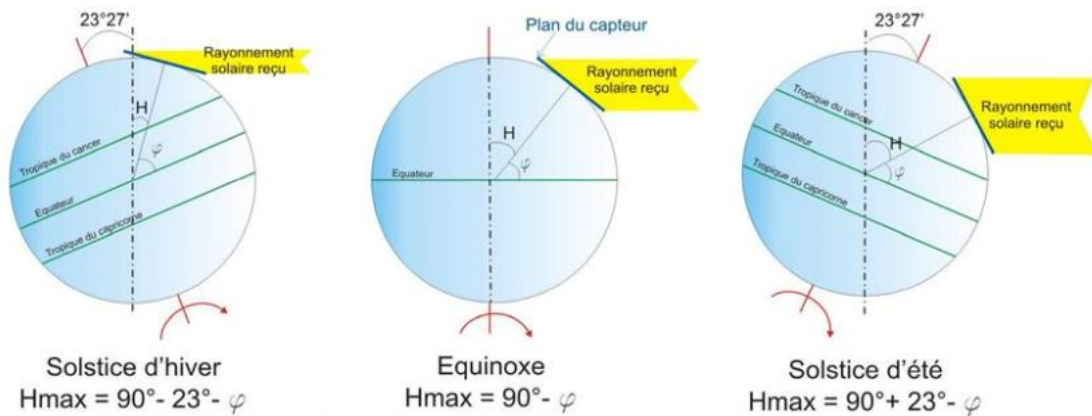


Figure (I.4) : Hauteur maximale du soleil à midi vrai

4. Le rayonnement solaire :

L'énergie du soleil est produite par les réactions de fusion thermonucléaires (la fusion est la réunion de plusieurs noyaux atomiques légers en un seul (4 noyaux d'hydrogène) en un noyau d'hélium) [11]. Le rayonnement solaire peut être décomposé en trois éléments dont la proportion est variable suivant le lieu et le moment : rayonnement direct, diffus, l'albédo et global.

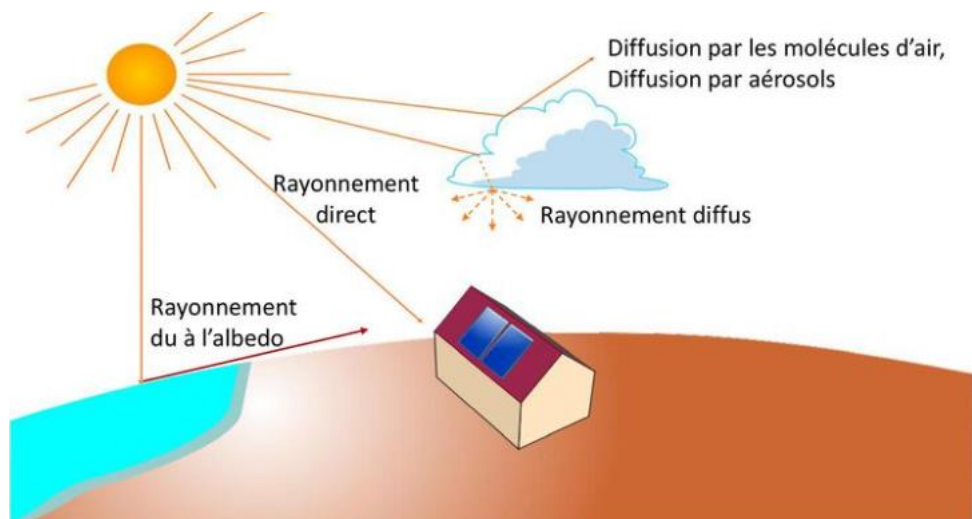


Figure (I.5) : Types du rayonnement solaire

4.1. Les différents types du rayonnement solaire :

4.1.1. Le rayonnement direct :

Le rayonnement direct est reçu directement du soleil sans diffusion par l'atmosphère. C'est lui qui nous aveugle lorsque on cherche à regarder le soleil "droit dans les yeux" par temps découvert. [12].

4.1.2. Le rayonnement diffus :

Le rayonnement diffus est constitué de la lumière diffusée par les molécules de l'atmosphère. La diffusion est le phénomène qui répartit un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions [12]. C'est lui qui nous donne la « lumière du jour » qui nous permet de voir clair même quand le temps est couvert.

4.1.3. Le rayonnement réfléchi :

Il dépend de l'environnement du site [10], il résulte de la réflexion du rayonnement solaire direct par le sol, qui est d'autant plus important que la surface est claire et réfléchissante (neige, étendue d'eau, ...). Il peut nous donner des coups de soleil à la montagne ou à la mer sans qu'on les sente venir. Le sol reçoit du rayonnement direct et du rayonnement diffus. Le rayonnement global est la somme de ces trois types de rayonnement diffus, le rayonnement direct et l'albédo [12], comme présenté par la figure (I.5).

4.2. Mesure du rayonnement solaire :

Pour mesurer le rayonnement solaire au niveau de sol, on peut utiliser les instruments suivants

4.2.1. Le pyranomètre :

Le pyranomètre est un radiomètre pour mesurer le rayonnement sur un plan. Le rayonnement incident étant issu de l'ensemble de l'hémisphère situé au-dessus de l'instrument.



Figure (I.6) : Le pyranomètre

4.2.2. Le pyréliomètre :

Le pyréliomètre est un radiomètre muni d'un collimateur, pour mesurer le rayonnement solaire direct sous incidence normale.



Figure (I.7) : Le pyréliomètre

5. L'énergie photovoltaïque :

L'énergie photovoltaïque est l'une des énergies renouvelables la plus utilisée. Elle est l'énergie transmise à la terre à travers l'espace sous forme de photons et de rayonnement électromagnétique. Elle consiste à convertir directement le rayonnement solaire en électricité. En utilisant des convertisseurs photovoltaïques ou cellules photovoltaïques qui représentent l'élément de base dans la conversion photovoltaïque. [13]

5.1.Historique :

C'est le savant français E. Becquerel qui fit la première observation d'un photo-courant, dès 1839, avec une électrode en platine et l'autre en cuivre oxydé, plongées dans une solution conductrice acide. Et en 1877 les propriétés semi-conductrices furent mises en évidence, par WG Adams et RE Day, sur le sélénium. Mais il a fallu attendre le vingtième siècle pour avoir des résultats importants, grâce à l'interprétation théorique de l'effet photo-électrique par Einstein en 1905, mais les véritables applications pratiques n'ont été réalisées que vers le milieu du siècle en 1941, par la mise au point de la première jonction **p-n** dans le silicium, puis l'obtention d'une cellule à bon rendement (construite par les chercheurs de la Bell Téléphone Laboratoires en 1955) ainsi que les fameux transistors. [4]

5.2.L'effet photovoltaïques :

L'effet photovoltaïque se manifeste quand un photon est absorbé par un matériau composé de semi-conducteurs dopés p (positif) et n (négatif), dénommé comme jonction p-n (ou n-p). Sous l'effet de ce dopage, un champ électrique est présent dans le matériau de manière permanente (comme un aimant possède un champ magnétique permanent). Quand un photon incident (grain de lumière) interagit avec les électrons du matériau, il cède son énergie ($h\nu$) à l'électron qui se retrouve libéré de sa bande de valence et subit donc le champ électrique intrinsèque. Sous l'effet de ce champ, l'électron migre vers la face supérieure laissant place à un trou qui migre en direction inverse. Des électrodes placées sur les faces supérieure et inférieure permettent de récolter les électrons et de leur faire réaliser un travail électrique pour rejoindre le trou de la face antérieure, ainsi se crée un courant électrique. [14]

6. Cellule photovoltaïque :

6.1.Description de la cellule photovoltaïque :

La cellule photovoltaïque est l'élément de base qui permet la conversion directe de l'énergie solaire (rayon lumineux), à une énergie électrique. Ce mode de conversion repose sur un principe très connu qui est l'effet photovoltaïque.

Et pour passer de l'effet photovoltaïque à l'application pratique, il est nécessaire de trouver des matériaux semi-conducteurs qui permettent d'optimiser les deux phases essentielles de ce principe, soit l'absorption de la lumière incidente et la collection des électrons en surface.

6.2.Structure d'une cellule photovoltaïque :

Les cellules PV sont fabriquées à partir de matériaux semi-conducteurs qui sont capables de conduire l'électricité ou de la transporter. Plus de 90 % des cellules solaires fabriquées à l'heure actuelle sont au silicium cristallin. Une des faces de la cellule est dopée **n** (par exemple du phosphore). L'autre est dopée **p** (par exemple du bore). Des électrodes métalliques sont placées sur les 2 faces pour permettre de récolter les électrons et de réaliser un circuit électrique. La face supérieure de la cellule est traitée de manière à optimiser la quantité de lumière entrant dans la cellule au moyen de traitement de surface, par l'application d'une couche anti réflexion, et d'autre couche en verre pour l'étanchéité et la protection de la cellule. [15]

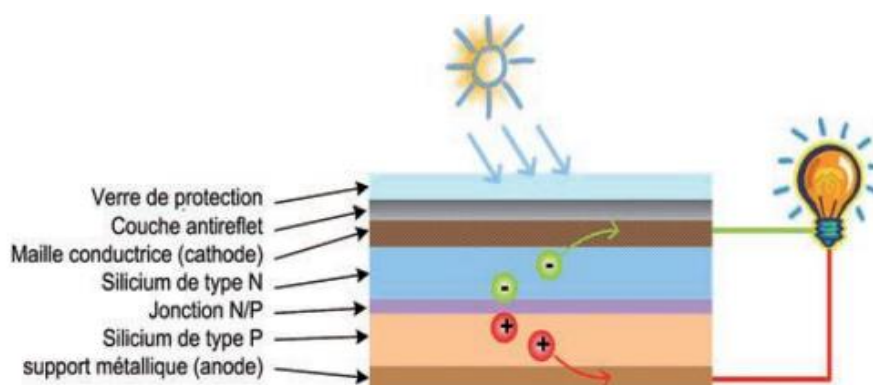


Figure (I.8) : Constitution d'une cellule photovoltaïque

6.3. Les Paramètres des cellules photovoltaïques :

Les paramètres des cellules photovoltaïques (I_{CC} , V_{CO} , P_{max} , FQ , FF et η), extraits des caractéristiques courant-tension, permettent de comparer différentes cellules éclairées dans des conditions identiques [16].

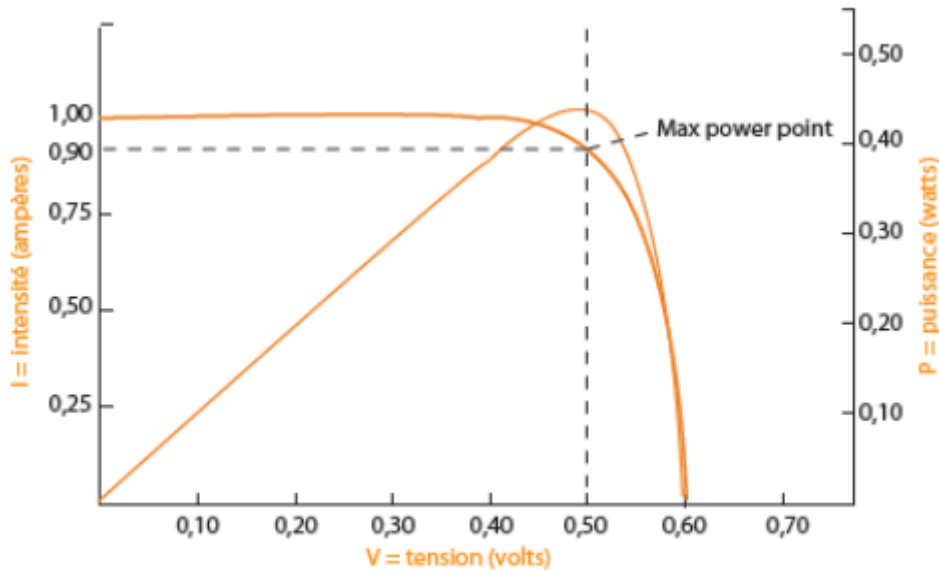


Figure (I.9) : Evolution de la caractéristique $I=f(V)$ et $P=f(V)$ [17] .

6.3.1. Courant de court-circuit, (I_{cc}) :

Il s'agit du courant obtenu en court-circuitant les bornes de la cellule (en prenant $V=0$ dans le schéma équivalent). Il croît linéairement avec l'intensité d'illumination de la cellule et dépend de la surface éclairée, de la longueur d'onde du rayonnement λ , de la mobilité des porteurs et de la température. Alors on peut écrire :

$$I_{cc} (V = 0) = I_{ph} \quad [I.1]$$

6.3.2. Tension à circuit ouvert, (V_{co}) :

La tension de circuit ouvert est obtenue quand le courant de la cellule est nul. Il est lié à la résistance shunt, lorsque cette dernière n'est pas connectée ou connectée mais sa valeur est infinie [18]. La valeur de cette tension diminue avec la température et dépend de l'éclairement de la cellule.

$$V_{CO} = \frac{K_T}{q} \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_s} \right) + 1 \quad [I.2]$$

6.3.3. Puissance maximale (P_{max}) :

La puissance fournie au circuit extérieur par une cellule photovoltaïque sous éclairement dépend de la résistance de charge (résistance externe placée aux bornes de la cellule). Cette puissance est maximale (notée P_{max}) pour un point de fonctionnement P_{max} (I_{max} , V_{max}) de la courbe courant-tension (courants compris entre 0 et I_{CC} et tension comprise entre 0 et V_{CO}) donc la puissance fournie par la cellule est donnée par le produit $(V.I)$. [18]

6.3.4. Facteur d'idéalité (FQ) :

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

6.3.5. Facteur de forme (FF) :

On appelle facteur de forme FF (fill- factor), le rapport entre la valeur maximale de la puissance pouvant être extraite ($P_{max} = I_{max} \times V_{max}$) de la cellule PV sous les conditions de mesures standardisées, et le produit $I_{cc} \times V_{co}$ [19]

6.3.6. Le rendement (η) :

Le rendement de la cellule qui correspond au rapport entre la puissance électrique maximale fournie par la cellule et la puissance solaire incidente [13].

$$\eta = \frac{I_{max} \cdot V_{max}}{P_{incident}} \quad [I.3] \qquad \eta = \frac{P_{max}}{E \cdot S}$$

Où

S : Surface de cellule solaire.

E : Flux incident.

7. Les technologies des cellules photovoltaïques :

Il existe différents types cellules photovoltaïques, répartie à base de leurs technologies de fabrication, généralement les technologies les plus répandues sont à base de silicium, d'autre matériaux sont aussi utilisés, comme les matières organiques. On cite si dessous les types de cellules photovoltaïques les plus répandues :

7.1. Les cellules à base de silicium monocristallin :

Les cellules sont fabriquées avec du silicium parfaitement cristallisé découpé dans des barres. C'est le matériau le plus répandu, et de plus il a l'avantage d'avoir un très bon rendement, entre 12 % et 16 %. L'inconvénient majeur est leur prix, du fait de leur procédé de fabrication long et énergivore. Il est utilisé en extérieur pour les fortes et moyennes puissances (habitations, relais, télécommunications...). [17]

7.2. Les cellules à base de silicium poly cristallin :

Les cellules de silicium poly cristallin sont découpées dans des barres de silicium reconstitué ; les atomes ne sont pas tous cristallisés. Le rendement est moins bon, entre 11 % et 14 %. L'avantage de ces cellules par rapport à celles en silicium monocristallin réside dans leur prix, puis que leur fabrication, produisant peu de déchets, nécessite de 2 à 3 fois moins d'énergie et est plus rapide. Elles ont les mêmes applications que les cellules en silicium monocristallin. [17]

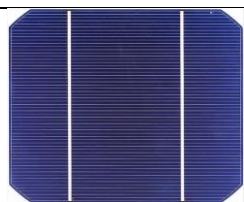

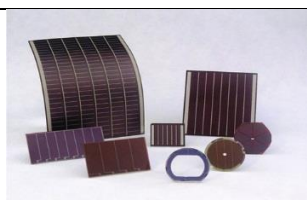
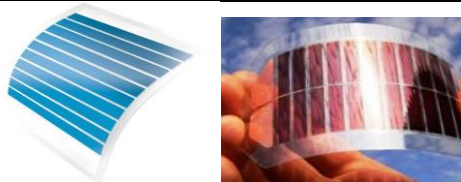
7.3. Les cellules à base de silicium amorphe :

Ce silicium est nettement moins puissant que les deux précédents, car les atomes sont disposés de manière désordonnée du fait que les cellules sont fabriquées par projection de silicium sur un autre matériau, comme du verre ou du plastique. Ce silicium en couche très mince répond néanmoins à de nombreux besoins liés à l'éclairage (extérieur ou intérieur). Son rendement est de 5 % à 7 %. Il est utilisé pour l'électronique, dans les calculettes par exemple. [17]

7.4. Les cellules base organiques et plastiques :

Ils sont composés d'une bicouche de molécules évaporées sous vides, atteint 0.95% de rendement de conversion, ces cellules comprennent deux voies, la voie des cellules « humide » et la voie des cellules polymère organique dite aussi cellules « plastiques ». Le progrès de ces technologies est très rapide, des records de rendement sont très fréquemment battus (actuellement près de 6%). Elles ouvrent également la voie aux applications légères, nomades et souples. [12]

Tableau (I.1) : Différents types de cellules photovoltaïques

Type de la cellule	Texture
Cellule en silicium monocristallin	
Cellule en silicium poly cristallin	
Cellule en silicium amorphe	
Cellules à base organiques et plastiques	

8. Influence d'éclairement et de la température :

8.1. Influence d'éclairement

La figure (I.2) présente les caractéristiques $I=f(V)$ et $P=f(V)$ d'un module photovoltaïque pour différents ensoleillements à la température fixe. Comme on peut voir sur la figure, le courant du module est proportionnel à l'ensoleillement, tandis que la tension change légèrement avec l'ensoleillement [20].

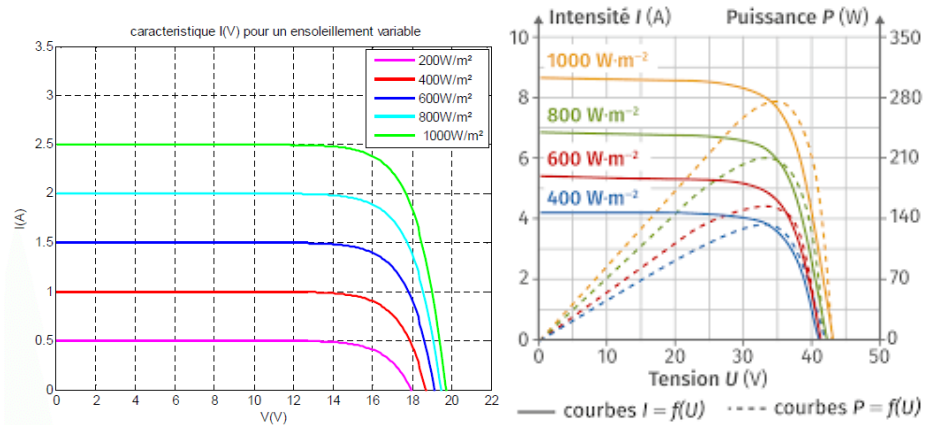


Figure (I.10) : Evolution de la caractéristique (I-V) (P-V) en fonction de l'éclairement

8.2. Influence de la température :

On peut observer l'effet de la température sur la caractéristique I(V). Comme le montre la figure (I.3), la température a un léger effet sur le courant, mais une augmentation de la température cause une diminution apparente sur la tension [20].

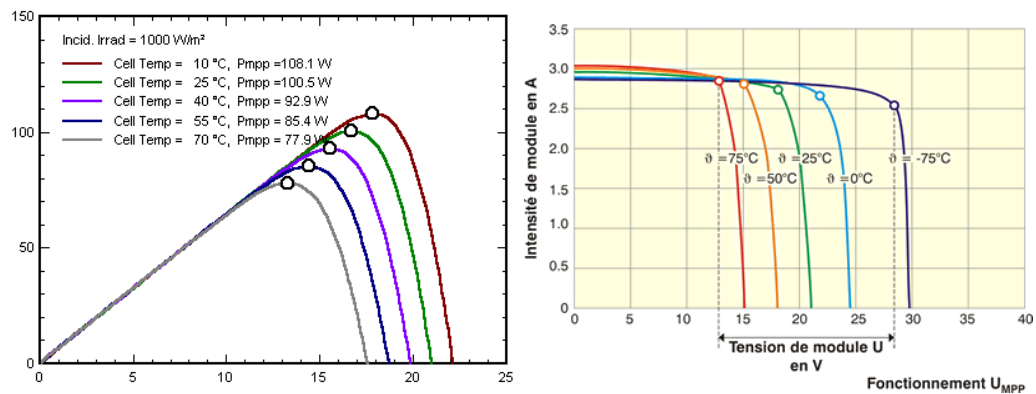


Figure (I.11) : Evolution de la caractéristique (I-V) (P-V) en fonction de la température

9. Différent configuration d'une installation photovoltaïque :

Les systèmes photovoltaïques apparaissent comme une solution privilégiée pour la production d'électricité de faible ou moyenne puissance en site isolé et particulièrement pour les habitations. Ce système PV se compose de plusieurs éléments principalement les modules PV qui représentent le champ de captage des rayons solaires ; les batteries qui constituent le champ de stockage c'est là où nous stockons de l'énergie produite par les modules ; le régulateur qui protège la batterie contre la surcharge et règle ainsi la valeur de la tension nominale ; l'onduleur qui assure la conversion du courant continu en courant alternatif dont les utilisateurs ont besoin ; le câblage qui relie les différents composants du système entre eux [21]. Généralement une installation photovoltaïque comprend les éléments suivants :

- Un générateur photovoltaïque.
- Un convertisseur statique continu / continu (DC/DC).
- Un convertisseur statique continu / alternatif (DC/AC).

- Un système de régulation et de stockage. [20]

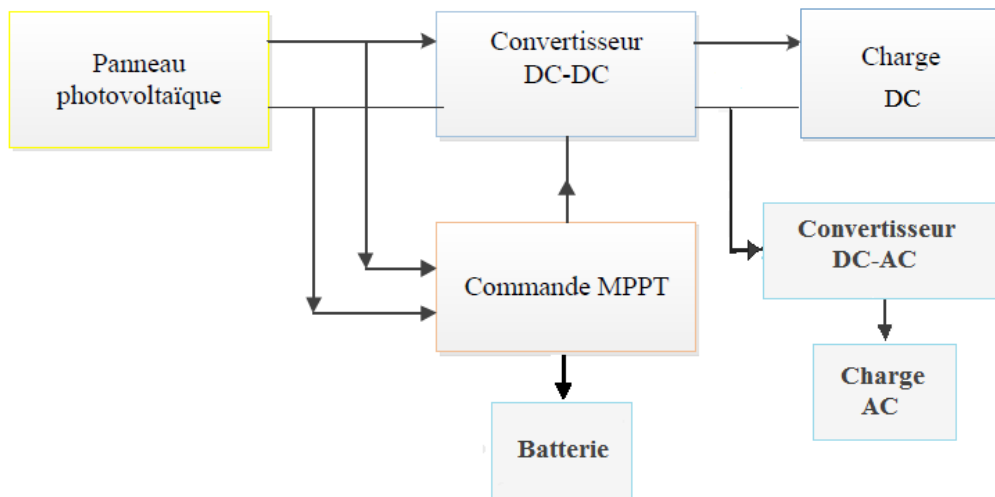


Figure (I.12) : représentation des différents composants d'une installation PV

9.1. Système autonome :

C'est un système photovoltaïque complètement indépendant d'autre source d'énergie, qui alimente l'utilisateur en électricité sans être connecté au réseau électrique. Dans la majorité des cas, un système autonome exigera des batteries pour stocker l'énergie. Ils servent habituellement à alimenter les maisons en site isolé, sur des îles, en montagne ainsi qu'à des applications comme la surveillance à distance et le pompage de l'eau. La figure (I.5), représente un exemple de système PV autonome, où la présence d'éléments de stockage est obligatoire pour assurer à l'utilisateur la fourniture en continue, même en cas d'absence potentielle de la production d'électricité. [2]

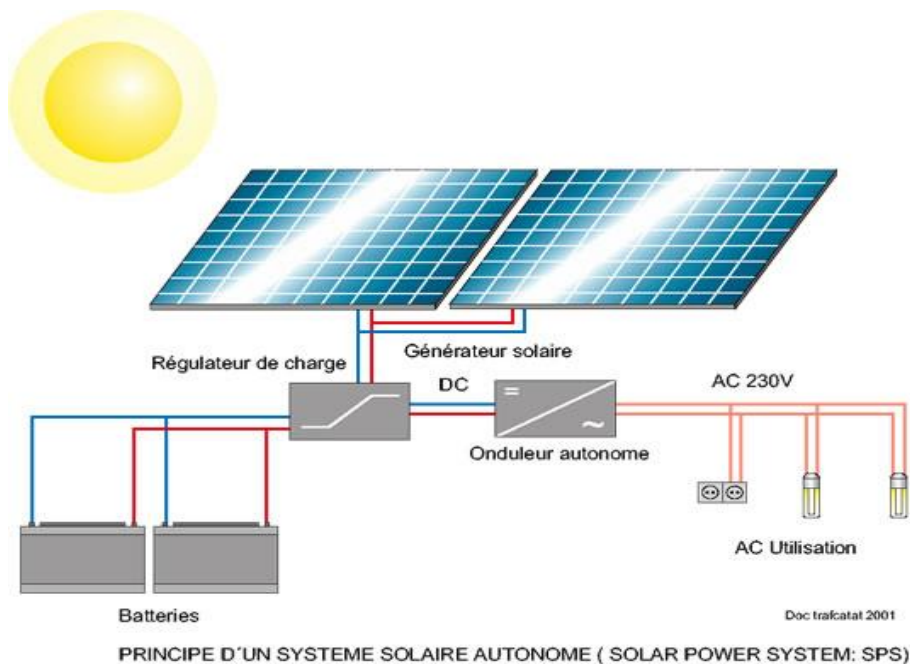


Figure (I.13) : Système PV autonome

9.2. Système raccordée au réseau :

Le champ photovoltaïque est couplé directement au réseau électrique à l'aide d'un convertisseur continu/alternatif (DC/AC). Etant donné que l'énergie est normalement emmagasinée dans le réseau même, les accumulateurs ne sont pas nécessaires à moins que vous ne vouliez une forme autonome d'énergie pendant les pannes d'électricité. L'énergie produite est consommée sur place le surplus étant injecté dans le réseau, qui alimente les maisons de nuit ou pendant les jours sans soleil [2].

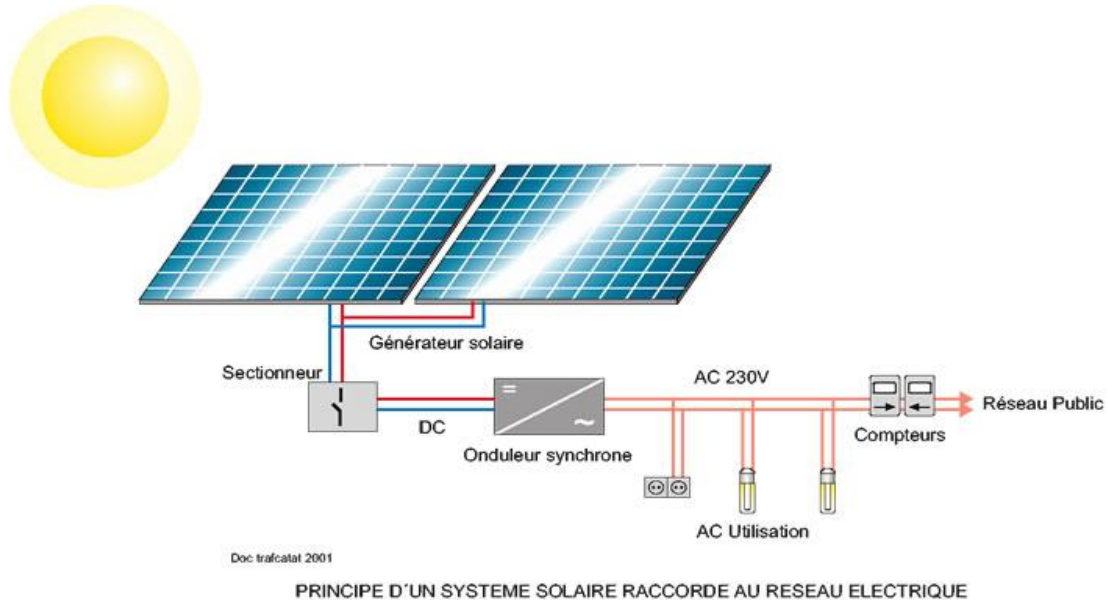


Figure (I.14) : Système PV raccordée au réseau

9.3. Système hybride :

Les systèmes hybride produisent de l'énergie électrique de la même manière qu'un système solaire ordinaire raccordé au réseau, mais utilisent deux sources de génération électrique photovoltaïque avec éolienne ou PV avec un groupe électrogène, et utilisent des onduleurs et des batteries hybrides spéciaux. Cette capacité de stockage permet à la plupart des systèmes hybrides de fonctionner également come une alimentation de secours en cas de panne.

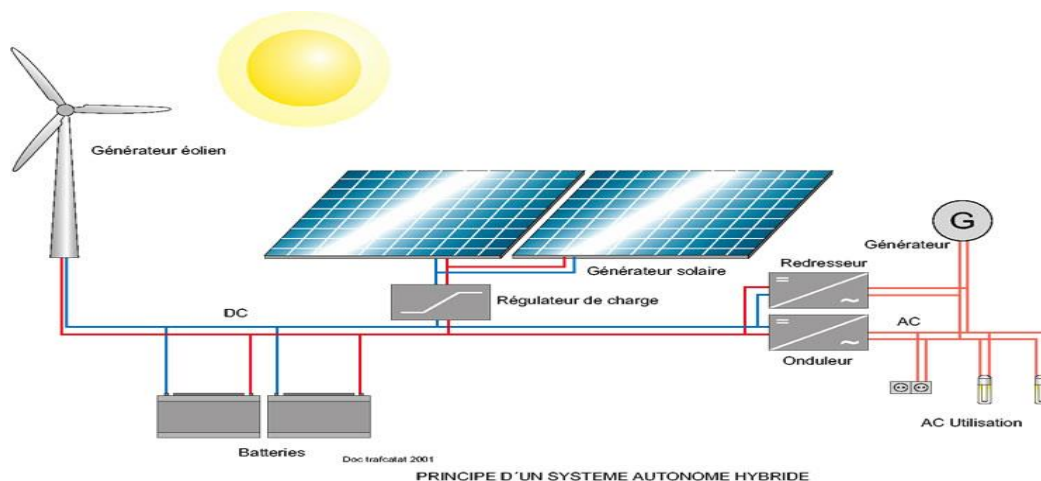


Figure (I.15) : Schéma de base d'un système solaire hybride

10. Avantage et inconvénient de l'énergie photovoltaïques :

L'énergie photovoltaïque présente des avantages énormes tels que :

- Gratuité de cette ressource et énormité de son potentiel réparti sur le globe terrestre,
- Propreté durant son utilisation,
- Grande fiabilité,
- Peu d'entretien,
- Grande souplesse de production (variant de milliwatts aux mégawatts).
- Utilisation autonome et décentralisée. [5]

Malgré ces avantages intéressants, il y a aussi des inconvénients tels que :

- Technologie coûteuse.
- Facteur de charge faible.
- Stockage difficile.
- Investissement élevé dépendant des décisions politiques [5]

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons rappelé quelques notions sur les énergies renouvelables en générale. Nos études centrées sur l'énergie photovoltaïque, c'est l'énergie la plus intéressante elle est disponible avec un immense potentiel. Ce potentiel favorise son utilisation pour l'alimentation électrique, en particulier les sites isolés dans les diverses régions mondiales et nous avons détaillé le principe de la cellule photovoltaïque afin de mieux comprendre l'ensemble du mécanisme de conversion en énergie électrique.

CHAPITRE 2

COMPOSITION D'UNE INSTALLATION PV

Introduction :

Le chapitre suivant se concentre sur différents composants essentiels d'un système photovoltaïque (PV) et leur rôle dans le fonctionnement global du système. Les titres abordés comprennent le générateur photovoltaïque, le système de pose, l'onduleur réseau, le système de protection électrique, le compteur électrique (smart meter) et le câblage électrique.

Et fournira une compréhension approfondie des composants clés d'un système photovoltaïque, de leur fonctionnement et de leur interconnexion. Une connaissance approfondie de ces composants est essentielle pour garantir un fonctionnement optimal et sûr du système PV.

1. Générateur photovoltaïque :

Un générateur photovoltaïque (PV) est un dispositif qui utilise l'effet photovoltaïque pour convertir la lumière du soleil en électricité. Il est composé de cellules photovoltaïques, qui sont des dispositifs semi-conducteurs capables de générer un courant électrique lorsqu'ils sont exposés à la lumière. Voici quelques généralités sur les générateurs PV :

Fonctionnement : Lorsque la lumière du soleil frappe les cellules photovoltaïques, elle excite les électrons présents dans le matériau semi-conducteur. Cette excitation crée un déséquilibre de charges électriques, ce qui génère un courant électrique continu. Ce courant peut être utilisé directement pour alimenter des appareils ou stocké dans des batteries pour une utilisation ultérieure. [22]

Composants : Les générateurs PV sont généralement composés de plusieurs cellules photovoltaïques reliées en série ou en parallèle pour augmenter la tension ou le courant électrique produit. Les cellules sont souvent fabriquées à partir de silicium, mais d'autres matériaux semi-conducteurs tels que le tellure de cadmium ou les pérovskites peuvent également être utilisés. [22]

Puissance : La puissance d'un générateur PV dépend de sa taille, du nombre de cellules photovoltaïques utilisées et de l'intensité de la lumière solaire disponible. Les générateurs PV peuvent être de petite taille pour alimenter des appareils individuels, ou de grande taille pour fournir de l'électricité à des bâtiments, des communautés ou même des réseaux électriques entiers. [22]

Applications : Les générateurs PV sont utilisés dans de nombreuses applications, notamment les systèmes solaires résidentiels et commerciaux, les centrales solaires à grande échelle, les calculatrices solaires, les lampes solaires, les systèmes de pompage solaire, les satellites spatiaux, etc. Ils sont particulièrement utiles dans les régions éloignées ou hors réseau où l'accès à l'électricité conventionnelle est limité. [22]

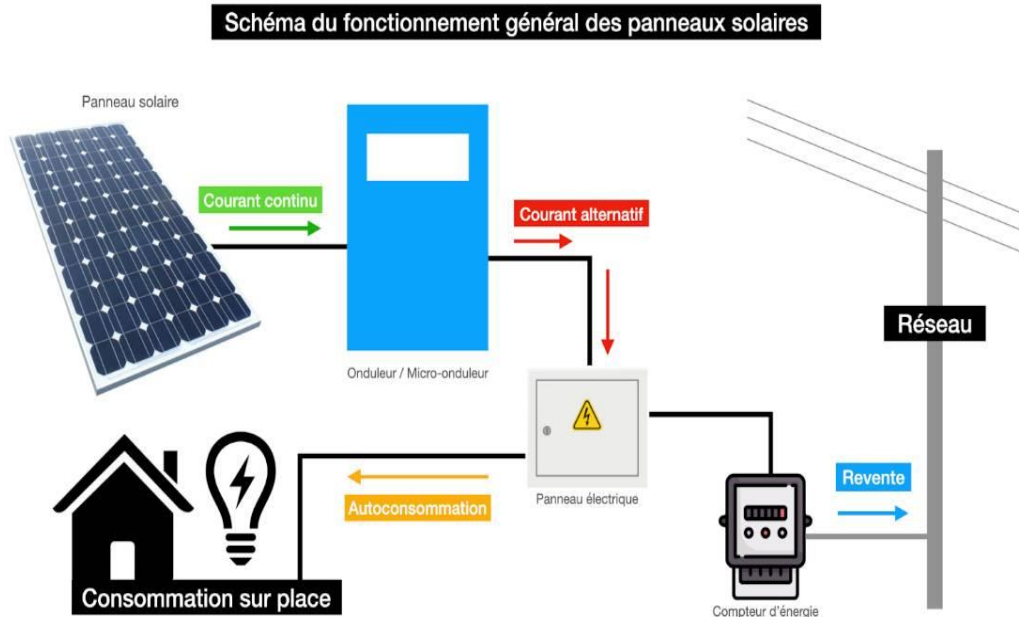


Figure (II.1) : Schéma de principe d'un système PV raccordé au réseau

2. Système de pose :

Le système de pose permet de maintenir les modules photovoltaïques au sol ou sur une toiture.

2.1. Installation au sol :

Le système permet l'installation sécurisée de panneaux au sol grâce à sa structure et pieds renforcés.

Les rails ne sont pas compris dans la structure et doivent être ajoutés séparément.

La structure s'adapte à toutes sortes de panneaux photovoltaïques traditionnels avec cadre aluminium et permet l'installation de 2 panneaux à la verticale superposés.

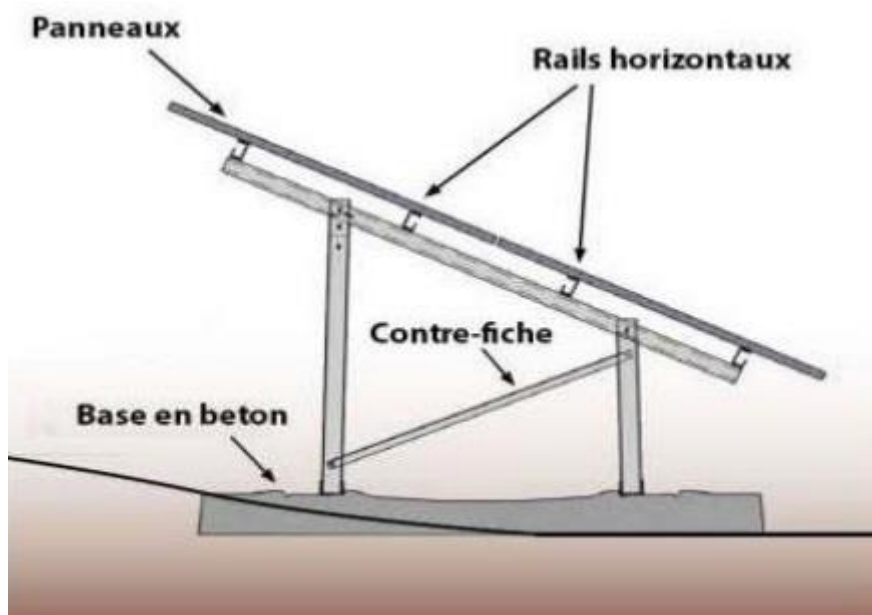


Figure (II.2) : Système de pose au sol

2.2. Intégration au bâti :

L'intégration au bâti consiste à installer le générateur photovoltaïque en remplacement de la couverture de toit, assurant ainsi l'étanchéité de la toiture à l'endroit où il est placé. En France, ce type d'installation bénéficie du meilleur tarif d'achat.

L'intégration au bâti est principalement utilisée pour les installations solaires destinées à la vente de l'électricité produite au réseau, car cela permet de bénéficier d'une prime de rachat par kilowatt-heure.

C'est également une solution à envisager pour les propriétaires qui souhaitent isoler et/ou rénover leur toiture tout en produisant de l'énergie verte. Si tel est votre objectif, vous devriez également envisager l'utilisation de tuiles solaires photovoltaïques pour générer votre propre électricité.

Cependant, veuillez noter que les compagnies d'assurance peuvent être réticentes vis-à-vis de l'intégration au bâti, car une installation mal réalisée peut entraîner des sinistres tels que des fuites d'eau ou des incendies. De plus, assurez-vous que votre installateur dispose d'une attestation d'assurance décennale, qui est nécessaire pour exercer son activité. [23]



Figure (II.3) : Installation intégrée au bâti [23]

2.3. Intégration sur le bâti :

Dans le cas de l'intégration en surimposition, les modules photovoltaïques sont installés au-dessus de la toiture sans remplacer la couverture existante. Cette solution est privilégiée pour les foyers qui souhaitent utiliser l'énergie solaire pour leur propre consommation, tout en minimisant les modifications structurelles de leur toit.

Il est important de noter que, même en cas d'autoconsommation solaire, une assurance décennale est une obligation légale. Vous devriez également vérifier si l'installateur possède la certification QualiPV RGE, qui est une garantie de qualité dans le domaine. Avant de signer un contrat, l'installateur doit être en mesure de vous fournir ces deux attestations.

Ces mesures visent à assurer que votre installation photovoltaïque est réalisée dans le respect des normes de qualité et de sécurité, et qu'elle est couverte par une assurance en cas de problèmes futurs. [23]



Figure (II.4) : Intégration sur le bâti

3. Onduleur réseau :

L'onduleur réseau, tout comme l'onduleur utilisé dans une installation photovoltaïque autonome, a pour fonction de convertir une tension continue en une tension alternative. Cependant, dans le cas de l'onduleur réseau, cette tension alternative doit avoir une fréquence et une valeur équivalentes à celles du réseau électrique.

Les principales différences résident dans le fait que la forme d'onde produite par l'onduleur réseau doit être obligatoirement sinusoïdale et que la tension alternative générée doit être en phase avec le réseau électrique, en respectant un ensemble de prescriptions et de normes de sécurité plus strictes.

L'onduleur réseau joue le rôle d'interface entre le champ photovoltaïque et le réseau électrique. Il fonctionne uniquement pendant la journée et uniquement si la tension du réseau est présente.

Il présente des caractéristiques différentes de celles d'un onduleur utilisé dans une installation photovoltaïque autonome :

L'onduleur convertit le courant continu provenant du champ photovoltaïque en courant alternatif compatible avec le réseau électrique.

Le courant produit est injecté sur le réseau électrique au fur et à mesure de la disponibilité du soleil. [24]

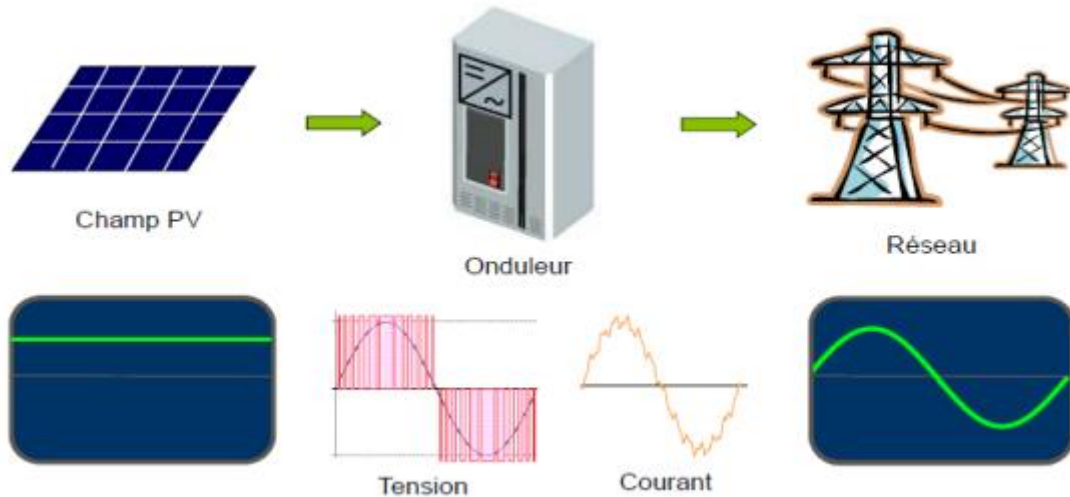


Figure (II.5) : Caractéristique d'un onduleur réseau

L'onduleur est généralement conçu sous la forme d'un boîtier métallique équipé d'un radiateur ou d'un ventilateur pour assurer sa dissipation thermique. Il peut être installé soit sur un support vertical tel qu'un mur, soit dans une armoire électrique, dans un espace bien ventilé ou à l'extérieur, tout en étant protégé et placé le plus près possible des modules photovoltaïques. Cela permet de limiter les pertes d'électricité dues à la distance parcourue par le courant.

L'onduleur fonctionne de manière silencieuse, émettant seulement un léger ronronnement ou sifflement. De plus, son champ électromagnétique est très faible, inférieur à celui d'une plaque à induction.



Figure (II.6) : Un onduleur réseau

3.1. Le principe de fonctionnement :

L'onduleur réseau joue un rôle essentiel dans la conversion du courant continu produit par les modules photovoltaïques en courant alternatif qui est identique à celui du réseau électrique. Lors de cette conversion, l'onduleur recherche en permanence le point de fonctionnement optimal, appelé point de puissance maximale (MPP), en se basant sur les caractéristiques courant-tension (I/U) du champ photovoltaïque.

Ces caractéristiques sont influencées par les conditions météorologiques telles que la température et l'irradiation solaire.

L'onduleur réseau intègre trois fonctions principales :

- Suivi du point de puissance maximale (P_{max}) du champ photovoltaïque, permettant d'optimiser la production d'énergie solaire.
- Conversion du courant continu en courant alternatif compatible avec le réseau électrique, assurant ainsi une alimentation conforme aux normes du réseau.
- Couplage et découplage du réseau électrique, permettant de connecter ou de déconnecter l'installation photovoltaïque du réseau en fonction des conditions et des besoins.

Ces fonctions essentielles de l'onduleur réseau garantissent une conversion efficace de l'énergie solaire en électricité utilisable par le réseau électrique.[24]

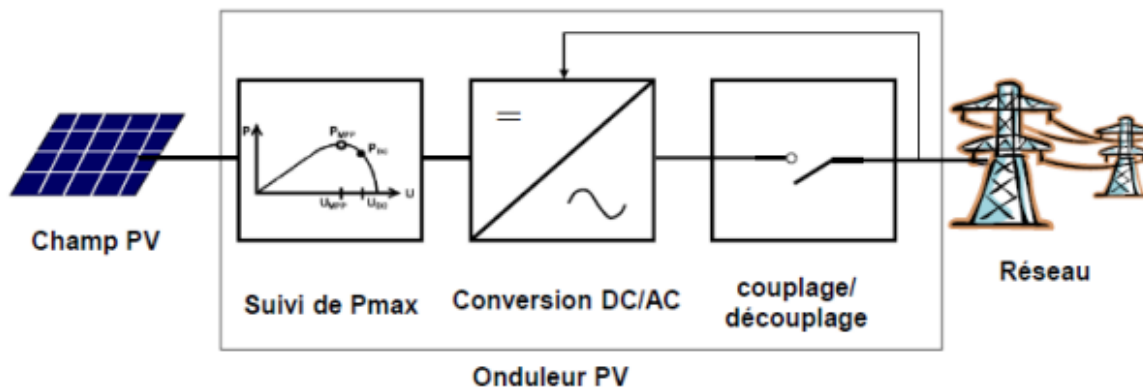


Figure (II.7) : Principe de fonctionnement d'un onduleur réseau

3.2. La recherche du point de puissance maximal :

Le suivi du point de puissance maximale (MPP) est une étape essentielle dans un système photovoltaïque (PV). De nombreuses méthodes de suivi MPP (MPPT) ont été développées, chacune avec ses propres variantes, pour surmonter les limitations spécifiques. Cependant, le large éventail de méthodes disponibles peut rendre difficile le choix de la meilleure technique lors de la mise en œuvre d'un système PV. Les méthodes diffèrent en termes de complexité, de nombre de capteurs requis, d'implémentation numérique ou analogique, de vitesse de convergence, de capacité de suivi et de rentabilité. De plus, le type d'application peut également avoir un impact significatif sur la sélection de l'algorithme MPPT.

Parmi les nombreux algorithmes et méthodes utilisés pour le suivi du MPP, voici quelques-uns des plus populaires :

- Méthode de perturbation et d'observation (P&O)
- Méthode de conductance incrémentielle (IC)
- Optimisation par essais de particules (PSO)
- Méthode de la tension constante (CV)
- Méthode de la température (T)
- Méthode de tension ouverte (OV)
- Méthode de tension (courant) de rétroaction
- Contrôle de logique floue (Fuzzy Logic Control)

La méthode de perturbation et d'observation (P&O) :

Est un algorithme couramment utilisé pour le suivi du point de puissance maximale (MPP) dans les systèmes photovoltaïques. Cette méthode fonctionne en ajustant périodiquement la tension ou le courant de sortie du panneau solaire, puis en comparant la puissance de sortie avec la valeur précédente. Si la puissance augmente lorsque la tension change ($dP/dV_{PV} > 0$), le système de contrôle ajuste le point de fonctionnement du panneau solaire dans cette direction. Sinon, le point de fonctionnement est déplacé dans la direction opposée.

L'avantage principal de cette méthode est sa simplicité, car elle ne nécessite pas une connaissance préalable des caractéristiques du panneau solaire. Dans sa forme la plus simple, l'algorithme P&O offre généralement de bonnes performances tant que l'irradiation solaire ne varie pas trop rapidement. Cependant, à l'état d'équilibre, le point de fonctionnement peut osciller autour du MPP et présenter de légères fluctuations. Par conséquent, il est important d'ajuster la fréquence des perturbations de manière appropriée, en veillant à ce qu'elle ne soit pas trop élevée.

Cette méthode est largement utilisée en raison de sa simplicité et de sa facilité de mise en œuvre, mais il convient de noter qu'elle peut présenter certaines limitations dans des conditions de fonctionnement spécifiques, telles qu'une variation rapide de l'irradiation solaire. [25]

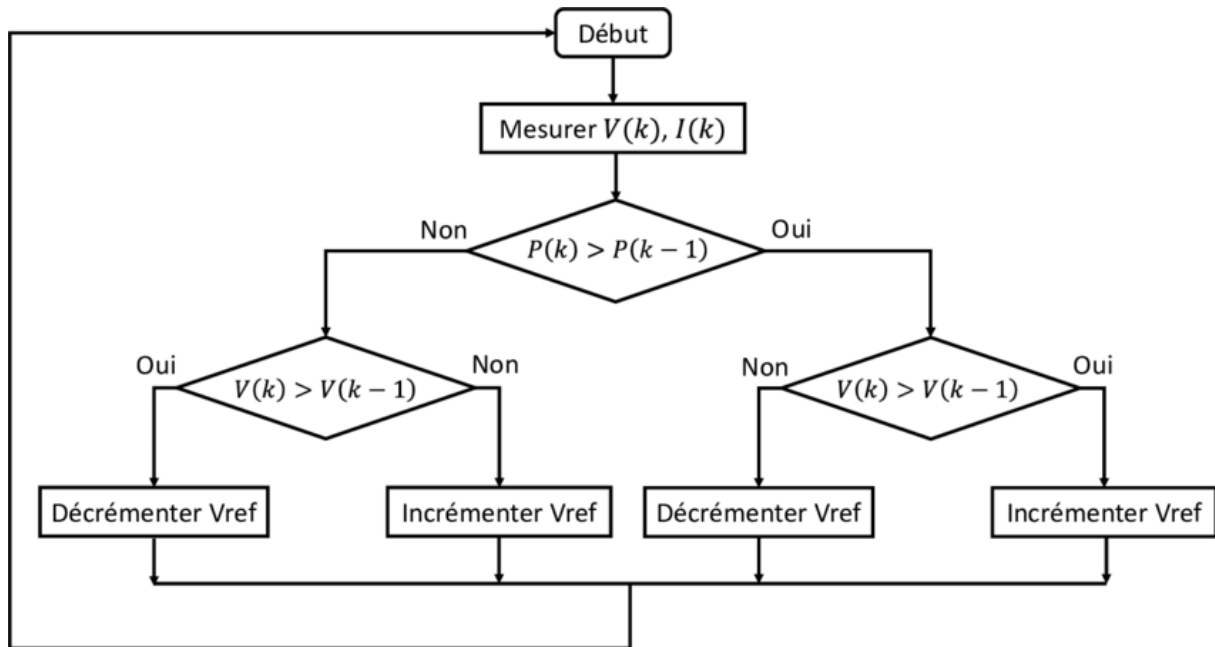


Figure (II.8) : Organigramme de l'algorithme MPPT de la perturbation & observation [25]

3.3. La conversion DC/AC :

Les onduleurs sont des structures en pont constituées le plus souvent d'interrupteurs électroniques comme des IGBT (transistors de puissance). Dans le cas standard, par un jeu de commutation commandée de manière appropriée, le plus souvent par MLI, l'énergie électrique continue fournie est modulée afin d'obtenir un signal alternatif à la fréquence du réseau. [26]

3.4. Couplage découplage au réseau électrique :

Condition de couplage au réseau électrique :

- Puissance et tension suffisantes en entrée d'onduleur (début de journée).
- Présence de tension du réseau électrique.
- Absence du défaut d'isolement au niveau du champ PV.

L'onduleur dans un système PV se synchronise avec le réseau électrique en termes de tension, fréquence et phase. Ce processus de synchronisation prend généralement quelques dizaines de secondes. Une fois que la synchronisation est effectuée, l'onduleur est couplé au réseau électrique et peut injecter l'électricité produite par les panneaux solaires.

Le découplage du réseau électrique se produit dans plusieurs conditions, notamment lorsque la puissance et la tension en entrée de l'onduleur deviennent insuffisantes, comme en fin de journée. Le découplage peut également se produire en cas d'absence de tension du réseau électrique ou lorsque la tension et la fréquence du réseau sont en dehors des tolérances acceptables. Enfin, en cas de défaut d'isolement au niveau du champ photovoltaïque (dans le cas d'un onduleur avec transformateur), le découplage est également nécessaire pour des raisons de sécurité.

Certains onduleurs sont équipés d'un transformateur pour isoler les panneaux solaires du réseau électrique, tandis que d'autres utilisent un système de surveillance continue du courant fourni par les panneaux. En cas de fuite détectée, l'onduleur s'arrête pour éviter tout court-circuit entre les panneaux solaires et le réseau.

Il est important de noter que chaque onduleur utilise une certaine quantité d'énergie fournie par les panneaux solaires ou par le réseau pour son propre fonctionnement interne, ce qui peut influencer les pertes de rendement annuelles du système.

Pour des raisons de sécurité et de conformité aux exigences des compagnies d'électricité, la surveillance de la tension et de la fréquence produites est généralement requise, et en cas d'absence de réseau, une coupure rapide de l'onduleur est nécessaire. **Les différents types d'onduleurs réseau :**

- Micro-onduleur :

Dans le cas d'un kit solaire équipé de micro-onduleurs, chaque panneau est relié à un ou deux micro-onduleurs selon le type de micro-onduleur proposé. Il y a donc plusieurs micro-onduleurs. Les panneaux ne sont plus branchés en série mais ce sont les micro-onduleurs qui le sont. Chaque panneau étant connecté à son micro-onduleur.



Figure (II.9) : Micro-onduleur

- Onduleur string (chaîne) :

D'une puissance de 1 kW à 50-60 kW, les onduleurs "string" sont bien adaptés à des installations qui présentent une configuration hétérogène : diverses inclinaisons et orientations, modules et strings de tailles différentes, modules à tolérance de fabrication élevés ou encore ombragés, il est préférable d'opter pour un concept décentralisé - c'est à dire utiliser plusieurs onduleurs. Rappelons qu'un onduleur recherche le meilleur point de la série de panneaux qu'il gère : un ensemble de modules branchés en série, on dit qu'ils appartiennent à un même « string ». Avec plusieurs onduleurs, on peut s'adapter aux différents points de fonctionnement des différents ensembles de modules du système. On branche alors un onduleur string avec une série de panneaux aux mêmes caractéristiques. Ajoutons que certains onduleurs "strings" ont plusieurs entrées MPP, ce qui accroît les possibilités de conception du système.

Les onduleurs string présentent également la possibilité de remplacer seulement un appareil en cas de besoin (panne, baisse de rendement...) réduisant ainsi l'indisponibilité.

Notons également que l'offre d'onduleurs strings autorise une mise à jour du système (rétrofit) sans avoir à toucher à l'amont (champ photovoltaïque) et à l'aval (coffret électriques et raccordement).

Côté pratique, enfin, les onduleurs string sont plus petits que les onduleurs centraux aussi l'installation est-elle plus facile. [IV]

- Onduleur central :

Dans le cas d'un kit solaire autoconsommation relié au réseau, l'onduleur central est branché en bout de la série de panneaux solaires. Il n'y a qu'un seul onduleur pour tous les panneaux.



Figure (II.10) : Onduleur central

4. Système de protection électrique :

L'installation d'un système photovoltaïque est régie par des normes françaises et européennes en termes de sécurité électrique.

4.1. Protection courant continu :

Une protection courant continu est exigée dans chaque installation d'un système photovoltaïque avec des coffres de type IP65 tel que : [27]

Protection des branches : La protection d'un champ photovoltaïque est réalisée à l'aide de fusible installé sur chaque branche. Il sera placé à la sortie de chaque branche parallèle et sera choisi en tenant compte de :

- La tension de fonctionnement d'un fusible doit être de 1,15 fois la tension à vide dans les conditions STC des modules raccordés en série : $1,15 \times V_{co} \times N_{ms}$
- Le calibre des fusibles doit être compris entre 1,5 et 2 fois le courant I_{cc} (STC) de chaque chaîne. ($1,5 \times I_{cc} \leq \text{calibre fusible} \leq 2 \times I_{cc}$). [27]



Figure (II.11) : Porte fusible

Protection par coffre DC : Il est donc placé entre les modules photovoltaïques et l'onduleur. Il comporte un dispositif de coupure et de sectionnement général DC sur la liaison principale et le parafoudre. [27]

- Interrupteur de coupure/ sectionneur DC :

Il sera placé juste à la sortie du générateur et servira entre autres d'isoler électriquement le champ PV afin de permettre des opérations de maintenance en sécurité. Il doit être dimensionné selon la règle suivante :

- Tension assignée du fusible $\geq 1,15 \times V_{co} \times N_{ms}$
- Intensité nominale $\geq 1,5 \times I_{cc} \times NBP$ [27]



Figure (II.12) : Sectionneur

- Le parafoudre DC :

Le parafoudre permet de protéger contre les risques de surtensions éventuelles dans l'installation. Pour prévenir les surtensions dues à la foudre. [27]



Figure (II.13) : Parafoudre DC

4.2. Protection courant alternatif :

Une protection courant alternatif est exigée en aval de l'onduleur. Il est donc placé entre l'onduleur et le réseau de distribution.

Le coffre AC comporte un dispositif de coupure et de sectionnement général AC sur la liaison principale, le parafoudre (chaque onduleur nécessite l'installation d'un disjoncteur différentiel). [27]

➤ Le disjoncteur/ interrupteur différentiel :

Dans l'installation électrique, il y a deux éléments électriques qui sont des plus importants et qui participent parfaitement la protection contre les chocs électriques. Il s'agit du disjoncteur et de l'interrupteur. La fonction différentielle est conférée au disjoncteur que l'interrupteur, de plus le disjoncteur est plus utilisé pour de circuit séparé comme un tableau divisionnaire et l'interrupteur différentiel s'installe entre le disjoncteur général et les disjoncteurs divisionnaires. Il a pour rôle de détecter les fuites de courant et d'interrompre l'alimentation en cas d'un défaut de terre.

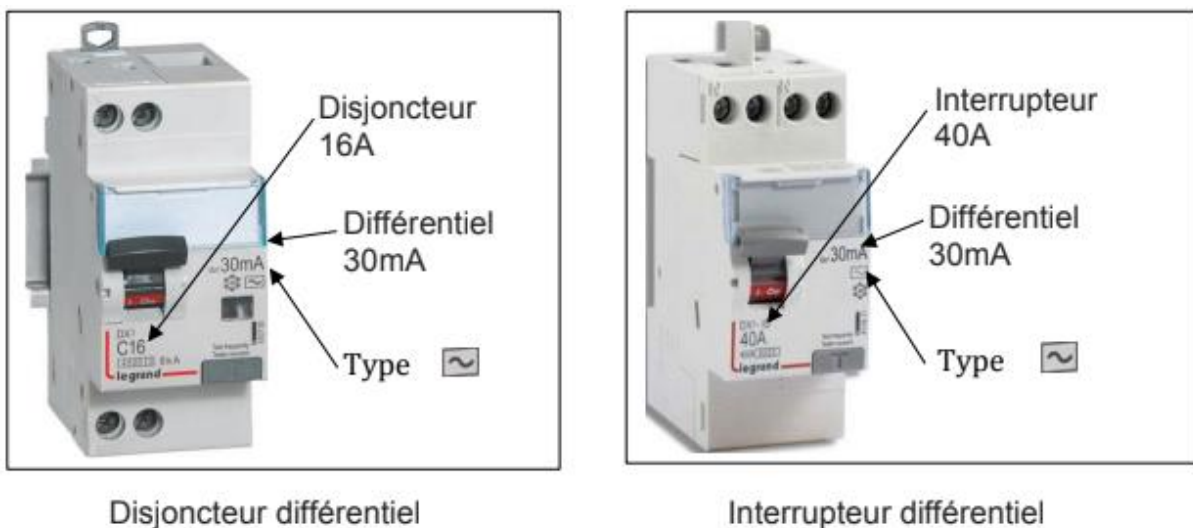


Figure (II.14) : La différence entre un disjoncteur et un interrupteur différentiel

Le disjoncteur différentiel disjoncte et détecte les courts-circuits et les surcharges électriques, ce qui est nécessaire pour la protection courante alternatif dans un système photovoltaïque. [27]

➤ Le parafoudre AC :

Afin de protéger vos appareils des risques de surtensions liées aux orages et à la foudre le parafoudre AC monophasé doit être installé dans le coffre AC et la protection contre les risques de surtensions induites dans le circuit de la partie à tension alternative de l'installation est important ainsi que la partie à tension continue. [27]



Figure (II.15) : Parafoudre AC

4.3. La mise à la terre :

La mise à la terre est une protection contre tout accident électrique éventuel sur une personne en contact avec un appareil présentant un défaut électrique et aussi une protection pour le matériel mis en place dans le système. On relie donc tout l'équipement électrique et les parties métalliques à la terre à l'aide d'un conducteur de faible résistance (5 ohms), de sorte que le courant électrique en défaut soit évacué dans la terre.

Le conducteur de terre qui assure la liaison entre la prise de terre et la barrette de mesure est de 16 mm² en cuivre isolé ou 25 mm² en cuivre nu. Le conducteur de terre qui assure la liaison entre la barrette de mesure et aux équipements est un câble en cuivre de couleur jaune-verte de 6 mm². [27]

La figure ci-dessous montre le principe de protection par coffre suivant l'union technique de l'électricité UTE C15-712.

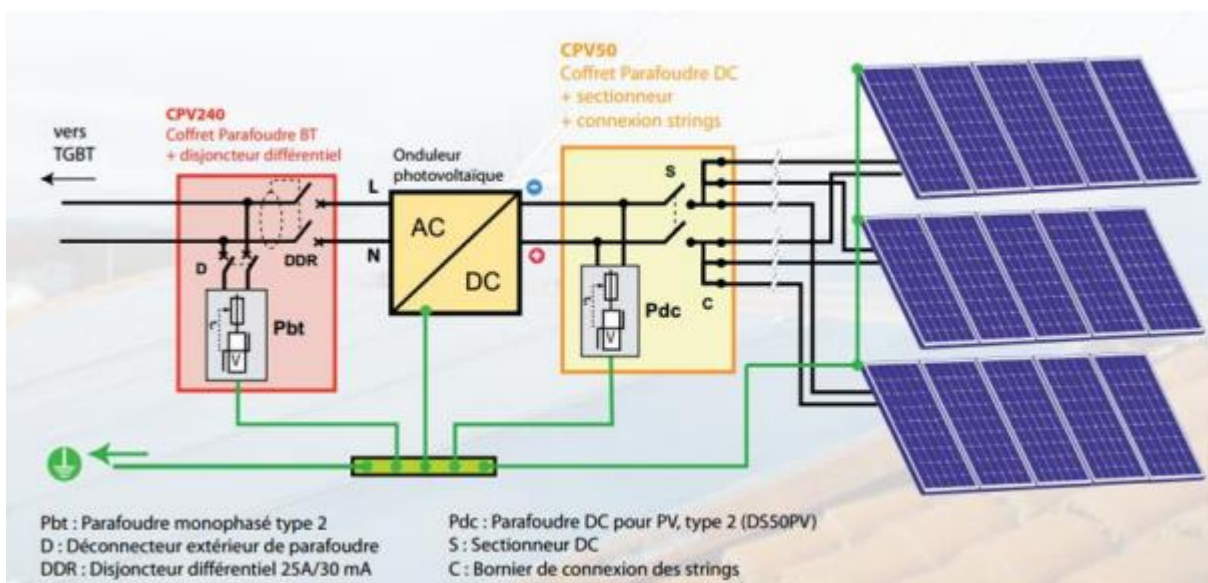


Figure (II.16) : Principe de protection par coffre suivant UTE C15-712. [27]

5. Compteur électrique (smart meeter) :

Un particulier dont la maison possède des panneaux solaires photovoltaïques a la possibilité de revendre tout ou partie de sa production électrique à une entreprise de distribution.

Le compteur va calculer la quantité d'électricité produite et le prix fixé par le distributeur.

Le compteur est directement branché au réseau et permet de réinjecter toute la production d'énergie dans le réseau.

Afin de déterminer la production d'électricité, il est nécessaire d'installer deux ou trois compteurs différents (compteur d'achat et compteur de vente). [28]

5.1. Le compteur d'achat d'énergie :

Un compteur d'achat d'énergie électrique est un organe électrotechnique servant à mesurer la quantité d'énergie électrique consommée dans un lieu : habitation, industrie...etc.

Il est utilisé par les fournisseurs d'électricité (Sonalgaz) afin de facturer la consommation d'énergie au client.

À l'origine ces appareils étaient de conception électromécanique, ils sont remplacés dorénavant par des compteurs électroniques.

Les nouvelles versions de compteurs électriques sont des compteurs communicants appelés parfois compteurs intelligents. [28]

6. Câblage électrique :

6.1. Cable solaire :

Les câbles DC raccordent les modules entre eux pour former des strings, et branchent plusieurs strings en parallèle. Seuls des câbles dits « solaires » (double isolation, protection UV et ozone, etc.) peuvent être utilisés. Plus en détails, les câbles solaires utilisés à l'extérieur sur des toitures doivent être résistants aux UV et protégés contre l'action de l'ozone. Ils doivent aussi être certifiés pour fonctionner à températures de -

20°C à 80°C. La prescription de température doit aussi être valable pour tout le matériel utilisé pour l'installation.

Les câbles principaux de CC doivent être dimensionnés et connectés en respectant certains critères essentiels pour des raisons de sécurité et d'efficacité énergétique :

- supporter une tension de $1,15 \times$ la tension de circuit ouvert (isolation)
- adapter la capacité du câble au transport du courant DC et AC (section des câbles) et pertes ohmiques dues aux chutes de tension
- utiliser des connecteurs appropriés. [29]

La sécurité contre les surintensités en cas d'incident ou de court-circuit

Lorsque plusieurs strings sont raccordés en parallèle, il est nécessaire de protéger les conducteurs contre les surintensités à l'aide de fusibles sur les pôles + et -.

Ces fusibles de protection sont facultatifs dans le cas où les conducteurs auront été dimensionnés pour pouvoir supporter la surintensité maximale possible (courant de court-circuit) et s'il n'y a pas plus de quatre strings connectés en parallèle. Dans ce cas, il faut vérifier que les modules peuvent supporter cette intensité dans le sens contraire (courant forcé à travers le module) sans les endommager de façon irréversible.

Par conséquent, les conducteurs principaux de CC devront toujours être dimensionnés pour la surintensité maximale possible fournie par plusieurs strings en parallèle de modules

PV (c'est à dire l'ensemble des strings mis en parallèle). La section du câble sera donc la valeur supérieure standard la plus près de la valeur calculée. [29]

6.2. Connecteurs MC4 :

Les connecteurs MC4 pour le photovoltaïque servent au câblage en série et parallèle des panneaux solaires de manière rapide et sûre.

Ils ont choisi en fonction de la section des câbles mise en œuvre sur le central PV.



Figure (II.17) : Connecteur MC4 mâle et femelle

Tableau (II.1) : Fiche technique connecteur MC4 [28]

Type	Connecteurs MC4 mâle et femelle		
Référence	M25400 / M25401	M25402 / M25403	M25406 / M25407
Section de câble	1,5 et 2,5 mm ²	4 et 6 mm ²	10 mm ²
Diamètre sur isolant	3 et 6 mm	3 et 6 mm	5,5 et 9 mm
Courant assigné max	17 A à 22,5 A	30 A	43 A
Tension du système max	1000 V		
Système de verrouillage	Snap-in		
Type de protection (connecté)	IP 67		
Catégorie de protection	II		
Température ambiante	- 40° C à + 90° C		
Poids	0,010 Kg		

Conclusion :

En conclusion, ce chapitre a abordé les composants essentiels d'un système photovoltaïque (PV) et leur rôle dans le fonctionnement global du système. Nous avons examiné le générateur photovoltaïque, les systèmes de pose, l'onduleur réseau, le système de protection électrique, le compteur électrique (smart meter) et le câblage électrique.

La compréhension de ces composants clés et de leur interconnexion est essentielle pour garantir la fiabilité, la performance et la sécurité du système photovoltaïque. Le chapitre suivant abordera le dimensionnement de l'installation photovoltaïque.

CHAPITRE 3

DIMENSIONNEMENT T DU SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE

Introduction :

Le présent chapitre se focalise sur le dimensionnement et l'analyse d'un système photovoltaïque (PV) pour répondre aux besoins électriques d'un site spécifique. Le chapitre abordera également l'utilisation d'un logiciel de dimensionnement, PVsyst, pour faciliter l'évaluation du système.

1. Description du site :

Le site que nous étudions, est la cité universitaire N°6 Baya Mahyadinne affilié à la commune de Soumaa est située au centre de la wilaya de Blida, à environ 5km au nord-est de Blida et environ 40 km au sud-ouest d'Alger. Elle se caractérise par les coordonnées suivantes :

Altitude : 265 m

Latitude : 36,5° nord

Longitude : 2,89



Figure (III.1) : Localisation géographique de la cité universitaire N°6

2. Gisement solaire local :

Pour déterminer l'énergie solaire disponible, il faut disposer de tables statistiques d'irradiations pour dix ans au minimum pour se décider sur l'intérêt économique de l'installation d'un système photovoltaïque.

On a utilisé le site PVGIS pour avoir les données de début 2005 jusqu'à la fin de 2020

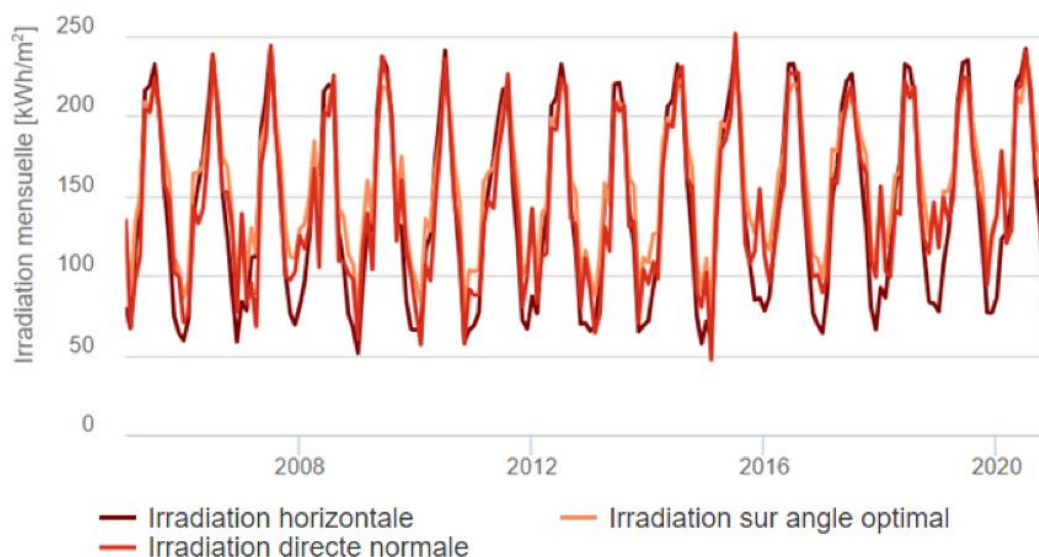


Figure (III.2) : Irradiation moyen sur un plan fixe de 2005 à 2020

3. L'orientation et l'angle d'inclinaison des panneaux solaire :

3.1. L'orientation des modules PV :

En Algérie et généralement dans tous les zones que se situe en hémisphère nord, l'orientation se fait en plein sud pour maximiser la durée d'ensoleillement sur les capteurs PV durant la journée.

3.2. L'inclinaison des modules PV :

Généralement l'angle d'inclinaison des modules est le même angle de latitude de lieu plus ou moins cinq degrés en cas d'un fonctionnement annuel, mais si le système fonctionne qu'à une session unique par exemple si le système fonctionne généralement en été l'inclinaison sera latitude de lieu moins dix à quinze degrés en cas d'hiver en fait l'inverse latitude de lieu plus dix à quinze degrés.

Dans notre cas latitude de lieu est de 36.5° et ce système se caractérise par un fonctionnement annuel mais on a choisi l'angle des panneaux égale à 32° pour atteindre un équilibre entre l'efficacité, stabilité et leur aérodynamisme cela sera plus détaillé après dans la partie du calcul du poids nécessaire pour assurer la stabilité des modules.

$$\text{L'angle d'inclinaison} = 32^\circ$$

4. Les besoins électriques :

D'abord, il convient d'identifier l'ensemble des appareils électriques qui seront alimentés par l'installation photovoltaïque. Pour chacun de ces appareils, la puissance nominale de fonctionnement doit être identifiée. Pour cela, on pourra s'appuyer sur des mesures directement sur site, ou bien les indications inscrites sur les fiches techniques/signalétiques des appareils. En dernier recours, si aucune information n'est disponible, on pourra effectuer une approximation de la puissance électrique de l'appareil.

Ensuite, une estimation de la durée d'utilisation journalière devra être effectuée. En ce sens, il est primordial de connaître les habitudes des usagers (car ce sont bien eux qui utilisent, à leur guise, les appareils consommateurs d'énergie).

Le produit de la puissance électrique (en W) par le temps d'utilisation (en h) indiquera l'énergie journalière consommée (en Wh) par l'appareil considéré. Dans le domaine de l'électricité, il est d'usage d'utiliser le W et le Wh comme unités de mesure respectivement de la puissance et de l'énergie électriques.

Enfin, la somme des énergies journalières calculées donnera une évaluation globale des besoins électriques de la cité. Cette méthodologie peut s'effectuer facilement grâce à des tableaux.

5. Dimensionnement analytique :

5.1. Bilan des puissances :

➤ L'administration :

Tableau (III.1) : Bilan du besoin de l'administration.

Equipment	Nombre	Puissance(W)	Puissance totale(W)	Duré d'utilisation(h)	Energie (Wh)
Lampe	10	18	180	8	1440
PC	8	75	600	6	3600
Imprimante	2	150	300	0.25	75
Divers	8	50	400	2	800
Climatiseur	8	1300	10400	6	62400
Totale			11880		68315

➤ Restaurant :

Tableau (III.2) : Bilan du besoin de restaurant.

Equipment	Nombre	Puissance(W)	Puissance totale(W)	Duré d'utilisation(h)	Energie (Wh)
Lampe	70	18	1260	8	10080
Chambre froide (négatif)	1	200	200	24	4800
Chambre froide (positif)	2	100	200	24	4800
Appareil de boucherie	1	3000	3000	2	6000
Lâcheuse	1	730	730	1	730
Râpeuse	1	500	500	1	500
Girafe	1	1100	1100	1	1100
Chaudière	1	1800	1800	4	7200
Totale			8790		35210

➤ Foyer et la salle polyvalente :

Tableau (III.3) : Bilan du besoin du foyer et la salle polyvalente.

Equipment	Nombre	Puissance(W)	Puissance totale(W)	Duré d'utilisation(h)	Energie (Wh)
Lampe (Foyer)	10	18	180	8	1440
Lampe (salle polyvalente)	50	18	900	5	4500
Frigo	2	100	200	24	4800
Tv	2	75	150	4	600
Divers	12	50	600	1	600
Totale			2030		11340

➤ **Bloc de 5 étages (on a cinq bâtiments de ce type) :**

Tableau (III.4) : Bilan du besoin d'un bloc de cinq étages.

Equipment	Nombre	Puissance(W)	Puissance totale(W)	Duré d'utilisation(h)	Energie (Wh)
Lampe chambre	74	18	1332	6	7992
Lampe sanitaire	10	18	180	12	2160
Lampe escalier	20	18	360	5	1800
Pompe	2	1500	3000	24	72000
Divers	74	250	18500	5	92500
Totale			23372		176452

➤ **Block de 6 étages (on a deux bâtiments de ce type) :**

Tableau (III.5) : Bilan du besoin d'un bloc de six étages.

Equipment	Nombre	Puissance(W)	Puissance totale(W)	Duré d'utilisation(h)	Energie (Wh)
Lampe chambre	89	18	1602	6	9612
Lampe sanitaire	6	18	108	12	1296
Lampe escalier	24	18	432	5	2160
Pompe	2	1500	3000	24	72000
Divers	89	250	22250	5	111250
Totale			27392		196318

➤ **La puissance et Energie totale de la cité :**

$$P_t = 200 \text{ KW} \quad ; \quad E_c = 1390 \text{ KWh}$$

5.2. Puissance et le nombres d'onduleur :

Pour calculer la puissance de l'onduleur on doit utiliser la loi suivante :

$$P_{\text{onduleur}} = \frac{P_t \times \alpha}{\eta_{\text{onduleur}}} \quad [\text{III.1}]$$

Avec :

α est un facteur de correction qui varier entre 1,2 à 1.3.

η_{onduleur} : est le rendement de l'onduleur, dans les onduleurs dernier créé le rendement est entre 0,96 et 0,98.

$$\text{AN : } P_{\text{onduleur}} = \frac{200 \times 1,25}{0,96} = 260.5 \text{ KW}$$

5.3. Puissance du champ photovoltaïque :

$$P_c = \frac{P_{\text{onduleur}}}{I_m} \quad [\text{III.2}]$$

Avec :

I_m : Eclairage moyenne dans notre cas il est égal à $800 \text{ W/m}^2 = 0.8$

$$\text{AN: } P_c = \frac{260.5}{0.8} = 325.5 \text{ KW}$$

5.4. Nombre de panneaux solaire :

On a choisi des panneaux poly cristallin de type (IFISOL-P340-72) avec les caractéristiques suivantes :

Electrical Specification

Module Type	Nominal Power P _{mpp}	Nominal Voltage U _{mpp}	Nominal Current I _{mpp}	Open Circuit Voltage (U _{oc})	Short Circuit Current (I _{sc})	Module Conversion Efficiency
IF-P330-72	330Wp	36.63V	9.01A	45.41V	9.48A	16.66%
IF-P335-72	335Wp	36.98V	9.06A	45.76V	9.56A	16.91%
IF-P340-72	340Wp	37.33V	9.11A	46.11V	9.64A	17.16%
IF-P345-72	345Wp	37.67V	9.16A	46.36V	9.72A	17.42%

Figure (III.3) : Les caractéristiques des panneaux PV de la mark IFISOL.

Nombre des modules :

$$N_p = \frac{P_c}{P_{mpp}} \quad [\text{III.3}]$$

Avec :

P_{max} : puissance max de panneau PV

$$\text{AN : } N_p = \frac{325.5 \times 10^3}{340} = 957 \approx 960 \text{ modules}$$

5.5. Ombrage créer par les panneaux :

Les dimensions du module installé :

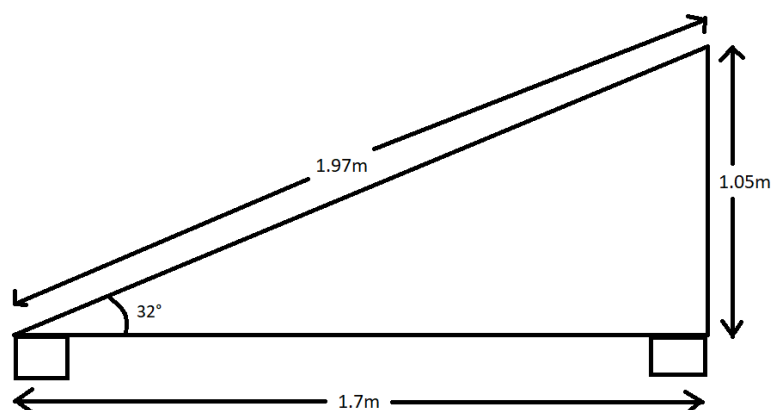


Figure (III.4) : Les dimensions du module installé

Depuis la figure (III.4) la hauteur de panneau est de 1.05m pour calculer de plus long ombre résultant on doit calculer la hauteur du soleil « Sin (h) » au lever de soleil le 21 décembre (la plus petite hauteur de soleil dans l'année)

On a:

$$\sin(h) = \sin(\delta) \sin(\varphi) + \cos(\delta) \cos(\varphi) \cos(\omega) \quad [\text{III.4}]$$

$$\delta = 23,45 \times \sin\left(2\pi \times \frac{d+284}{365}\right) \quad [\text{III.5}]$$

Avec :

δ : la déclinaison

d : le nombre de jour (dans notre cas 21 décembre = 356)

ω : Angle horaire (« négatif le matin » dans notre cas est à 10:00 chaque heure avant midi TSV = -15°)

φ : Latitude de lieu = 36.5°

AN :

$$\delta = 23,45 \times \sin\left(360 \times \frac{356 + 284}{365}\right) = -23.35^\circ$$

$$\omega = 2.5 \times (-15) = -37.5^\circ$$

$$\sin(h) = \sin(-23.45) \sin(36.5) + \cos(-23.45) \cos(36.5) \cos(-37.5)$$

$$\sin(h) = 0.35 \quad ; \quad h = 20.5^\circ$$

Calcul de la longueur d'ombre :

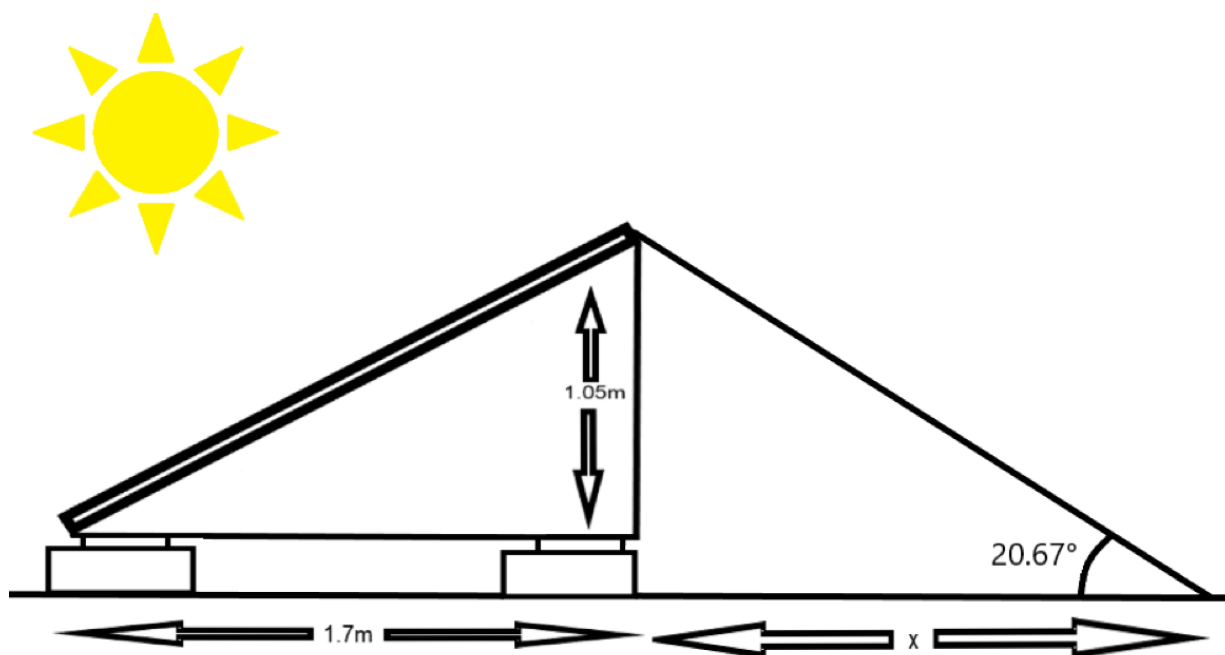


Figure (III.5) : Longueur d'ombre

$$X = \frac{L}{\tan(h)} ; X = \frac{1.05}{\tan(20,5)} = 2,8m$$

Alors la distance entre les branches et de 2.8m.

D'après cette condition chaque toit de block d'hébergement peut supporter que 80 panneaux et le reste sera placé sur le toit du restaurant.

5.6. Calcule du contre poids en béton pour contreventer les panneaux :

Dans le domaine de génie civil il existe deux vitesses du vent qu'il faut se méfier d'elle

- Vitesse du vent moyenne (70 km/h = 19.44 m/s).
- Vitesse du vent extrême (140 km/h = 38.88 m/s).

5.6.1. Force du vent de face :

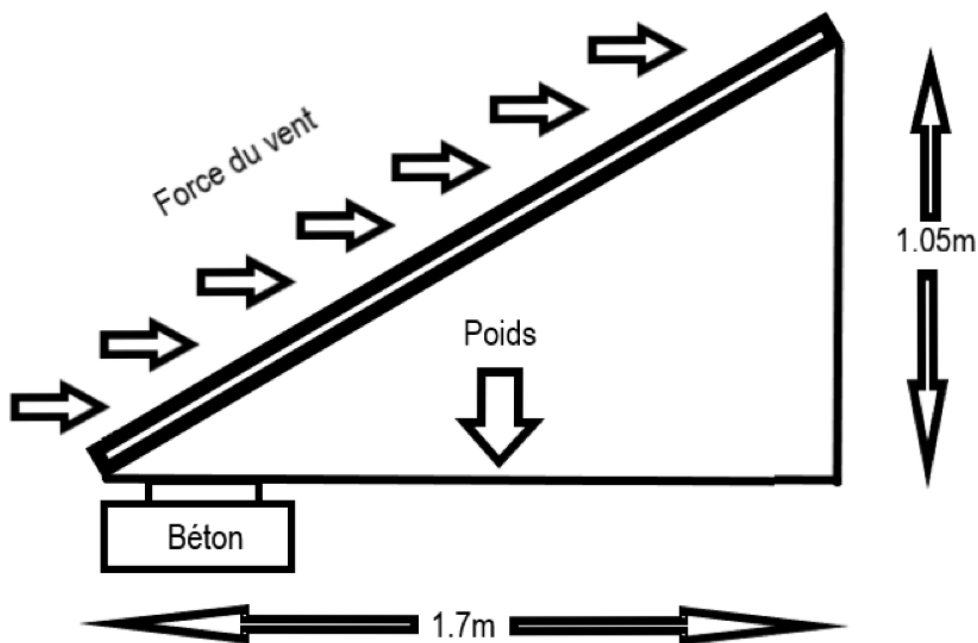


Figure (III.6) : La distribution de la force du vent de face

D'après les données météorologiques de notre site on va calculer par rapport à la vitesse du vent moyenne.

Avant d'arriver à la masse du béton on doit calculer :

- La pression du vent : la formule simplifiée de Bernoulli

$$P = \frac{v^2}{16} \text{ [III.6] : La formule simplifiée de Bernoulli}$$

$$P = \frac{19.44^2}{16} = 23.6 \text{ DaN/m}^2$$

- La force du vent en contact avec le panneau

$$F = P \times S \text{ [III.7]}$$

$$S = H \times l \text{ [III.8]}$$

Avec :

S : La surface du panneau en contact avec le vent

H : La hauteur du panneau (1.05m)

l : Largeur du panneau (1m)

AN :

$$S = 1.05 \times 1 = 1.05 \text{ m}^2$$

$$F = 23.6 \times 1.05 = 24.8 \text{ DaN}$$

On calcule la distribution de la force par la longueur du bras de levier en utilisant les lois la RDM

- La force du vent :

$$D_v = F \times H = 24.8 \times 1.05 = 26.05 \text{ DaN.m}$$

- La force de la masse :

$$D_m = M_p \times 0.5 \times L = 25 \times 1.7 \times 0.5 = 21.25 \text{ DaN.m}$$

Pour des mesures de sécurité il faut que la somme de poids du panneau avec sa structure plus le poids de béton ajouter soit supérieur ou égale à trois fois la force du vent.

$$M_B \times L + D_m = 3 \times D_v \quad ; \quad M_B = \frac{3 \times D_v - D_m}{L} = \frac{3 \times 26.05 - 21.25}{1.7} = 33.5 \text{ Kg}$$

5.6.2. Force du vent par derrière :

Vu que la vitesse du vent et la surface du panneau en contact avec le vent sont les même, le résultat sera le même la seule différence est la position ou en doit poser notre béton.

On conclut que la masse nécessaire pour fixer un panneau est égale à 67Kg de béton.

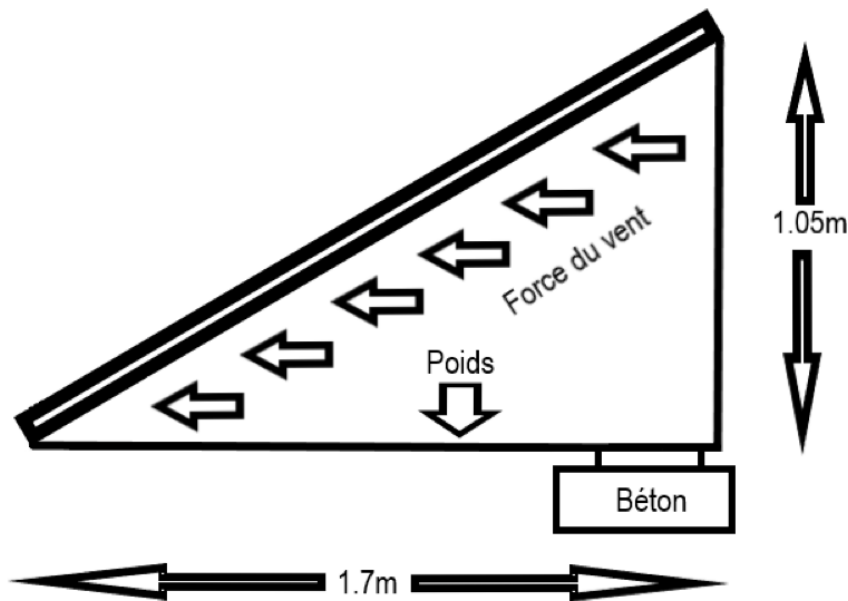


Figure (III.7) : La distribution de la force du vent par derrière

- Le volume de béton équivalent ($1 \text{ m}^3 = 2500 \text{ Kg}$):

$$M_{BT} = N_{brp} \times M_B \quad ; \quad M_{BT} = 960 \times 67 = 64320 \text{ Kg}$$

$$V_B = \frac{M_{BT}}{2500} = 25.72 \text{ m}^3$$

5.7. Raccordement des modules PV :

Vu à l'espace limité sur les blocks d'hébergement on a réparti le système a plusieurs mini installations similaires en totale en aura 7 installations similaire chaque une sera équiper par 80 modules PV et un onduleur de 25Kw (une par block). Et un système de 400 panneaux avec un onduleur de 125Kw sur le toit du restaurant ou 5 onduleurs de 25kw avec un master et 4 slaves cela peut couter plus en cas d'une panne pas tout l'installation sera arrêtée pour la maintenance/réparation.

Pour savoir le meilleurs raccordement des panneaux en doit respecter les valeurs d'entrée de l'onduleur, en a choisi des onduleur (MID 25KTL3-X1 et MAX 125KTL3-X/LV) de la marque GROWATT « Annex A » avec une puissance de sortie de 25kw/125kw.

Fiche technique	MID 25KTL3-X1	MID 30KTL3-X	MID 33KTL3-X	MID 36KTL3-X	MID 40KTL3-X
Data d'entrée (DC)					
Max. puissance PV conseillée (pour module STC)	37500W	45000W	49500W	54000W	60000W
Max. voltage DC	1100V				
Voltage démarrage	250V				
Voltage nominal	600V				
MPPT plage voltage	200-1000V				
No. de MPP trackers	3	3	3	4	4
No de chaînes PV par MPP tracker	2				
Max. courant entrée par MPPT	26A				
Max. courant court-circuit par MPPT	32A				

Figure (III.8) : données d'entrée de l'onduleur « MID 25KTL3-X1 »

Fiche technique	MAX 100KTL3-X LV	MAX 110KTL3-X LV	MAX 120KTL3-X LV	MAX 125KTL3-X LV
Data d'entrée (DC)				
Max. voltage DC	1100V			
Voltage démarrage	195V			
Voltage nominal	600V			
MPPT plage voltage	180V-1000V			
No. de MPP trackers	10			
No de chaînes PV par MPP tracker	2			
Max. courant entrée par MPPT	32A			
Max. courant court-circuit par MPPT	40A			

Figure (III.9) : données d'entrée de l'onduleur « MAX 125KTL3-X/LV ».

5.7.1. Déterminer le nombre de panneaux en série :

Pour cela on va deviser la tension nominale d'entrée mppt de l'onduleur par la tension maximale en circuit ouvert de panneau PV :

$$\text{Nbr}_{\text{Panneaux en série}} = \frac{V_{\text{onduleur}}}{V_{CO}} \quad \text{[III.9]}$$

$$\text{Nbr}_{\text{Panneaux en série}} = \frac{1000}{46.11} = 21.7 \approx 20 \text{ panneaux}$$

5.7.2. Déterminer le nombre de branches en parallèle :

Pour cela on va deviser l'intensité du courant nominale d'entrée mppt de l'onduleur par l'intensité du courant maximale en court-circuit de panneau PV :

$$\text{Nbr}_{\text{Branches en parallèle}} = \frac{I_{M \text{ onduleur}}}{I_{CC}} \quad \text{[III.10]}$$

$$\text{Nb}_{\text{Branches en parallèle}} = \frac{26}{9.64} = 2.7 \approx 2 \text{ branches}$$

5.7.3. L'installation sur les blocs :

On a choisi l'utilisation d'un onduleur de 25KW, chaque entré MPPT sera connecté avec 2 branches des modules PV en parallèle ces dernier contient 20 panneaux en série (80 panneaux en total).

5.7.4. L'installation sur le restaurant :

On a choisi l'utilisation d'un onduleur de 125KW, chaque entré MPPT sera connecté avec 2 branches des modules PV en parallèle ces dernier contient 20 panneaux en série (400 panneaux en total).

5.8. Section des câbles :

5.8.1. Bloc d'hébergement :

- Entre le champs PV et la boite de jonction :

La longueur (L) dans les calculs correspondant aux deux câbles rouge et noir (le plus et le moins) exemple L= 35m c à dire que 35m câble rouge et 35m câble noir Entre champ PV Boite de jonction

$$S = \frac{2 \times L \times I \times \rho}{\varepsilon \times V} \text{ [III.11]}$$

Avec :

S : la section du câble

L: la longueur de câble en mètre (35m) ; V : la tension du courant (46.11×20 = 922.2V)

I : l'intensité du courant (9.64A)

ε : la chute de tension maximale (2% = 0, 02) ; ρ : la résistivité du cuivre (0, 0185 Ω.m)

$$\text{AN : } S = \frac{2 \times 35 \times 9.64 \times 0.0185}{0.02 \times 922.2} = 0.677 \text{ mm}^2 = 2.5 \text{ mm}^2$$

- Entre la boite de jonction et l'onduleur :

L= 5m ; V = 922.2V ; I = 9.64×2 = 19.28A

ε = 0, 02 ; ρ = 0, 0185 Ω.m

AN:

$$S = \frac{2 \times 5 \times 19.28 \times 0.0185}{0.02 \times 922.2} = 0.193 \text{ mm}^2 = 2.5 \text{ mm}^2$$

5.8.2. Le restaurant:

- Entre le champs PV et la boite de jonction :

L= 80m ; V = 46.11×20 = 922.2V ; I = 9.64A

ε = 0, 02 ; ρ = 0, 0185 Ω.m

AN:

$$S = \frac{2 \times 80 \times 9.64 \times 0.0185}{0.02 \times 922.2} = 1.52 \text{ mm}^2 = 2.5 \text{ mm}^2$$

- Entre la boite de jonction et l'onduleur :

L= 10m ; V = 922.2V ; I = 9.64×2 = 19.28A

ε = 0, 02 ; ρ = 0, 0185 Ω.m

AN:

$$S = \frac{2 \times 10 \times 19.28 \times 0.0185}{0.02 \times 922.2} = 0.388 \text{ mm}^2 = 2.5 \text{ mm}^2$$

6. Dimensionnement avec logiciel (PVsys) :

6.1. Présentation de PVsyst :

PVsyst est un logiciel conçu pour être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs, mais aussi un outil pédagogique très utile. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détails la procédure et les modèles utilisés et offre une approche économique avec guide dans le développement d'un projet. PVsyst permet d'importer des données météo d'une dizaine de sources différents ainsi que des données personnelles.

6.2. Caractéristique de notre site :

6.2.1. Coordonnées géographiques :

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

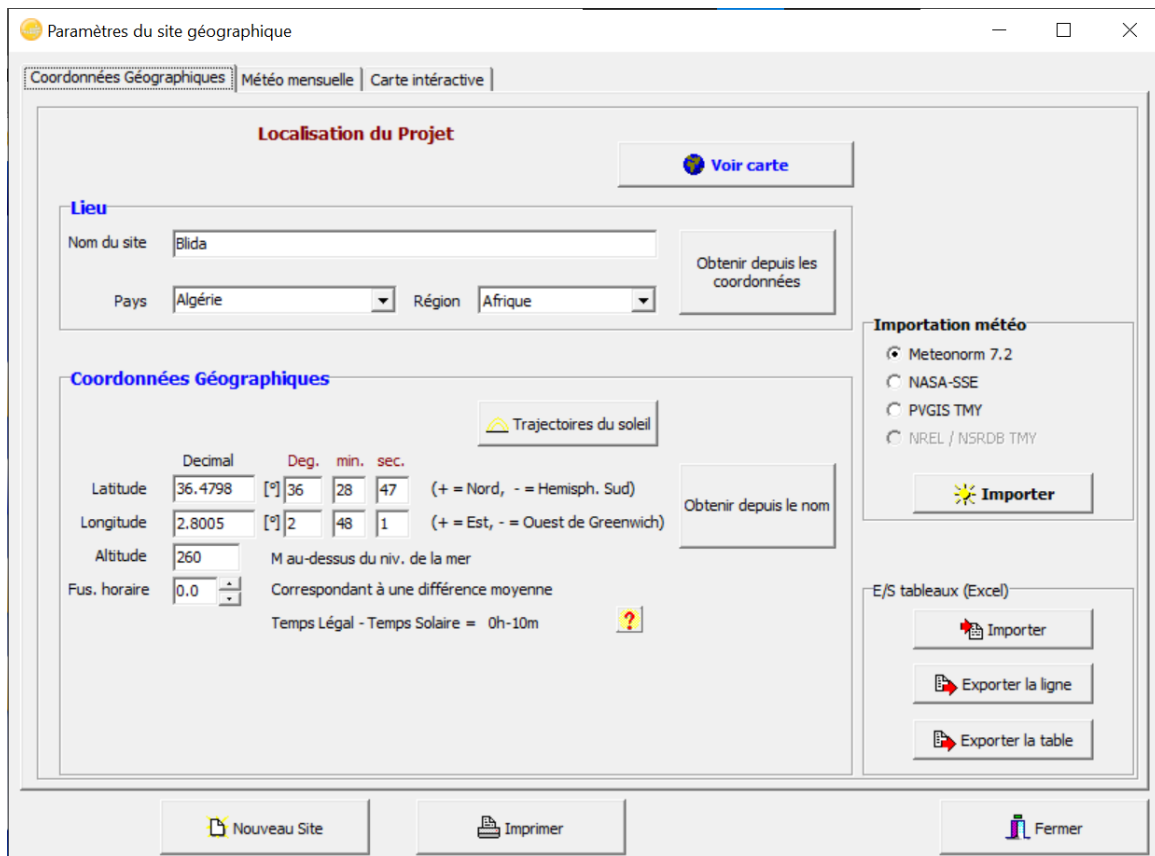


Figure (III.10) : Coordonnées du site étudiant.

6.2.2. Paramètres du soleil :

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

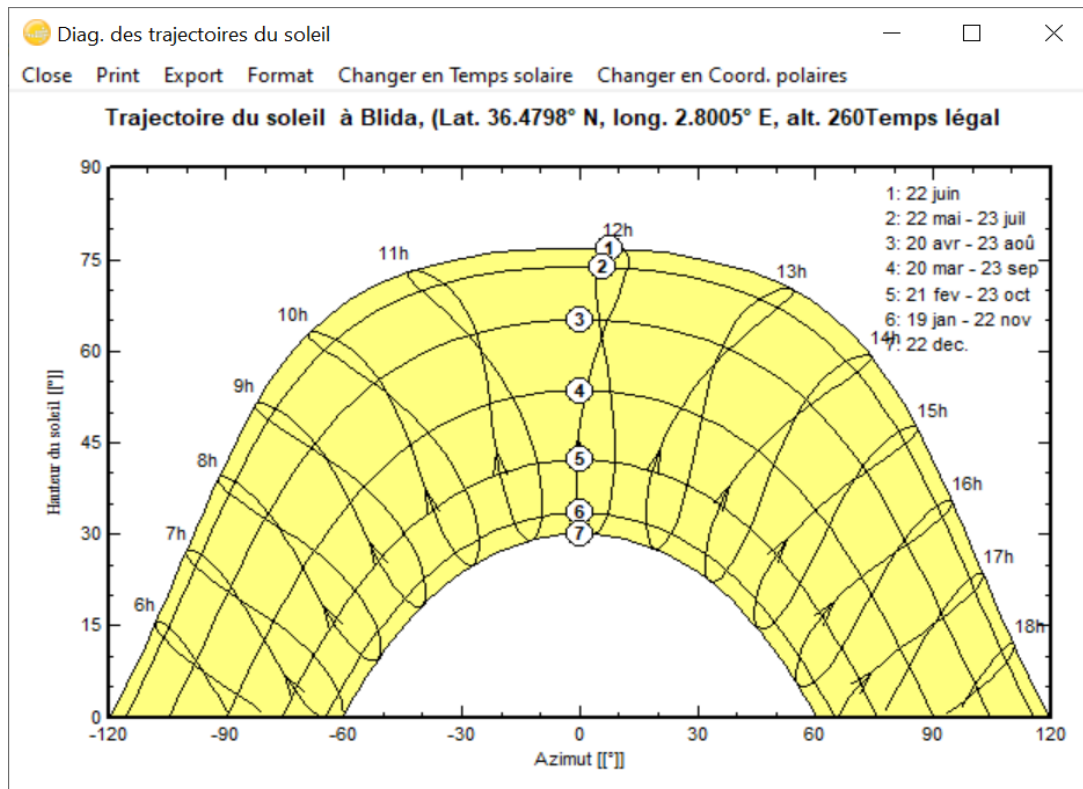


Figure (III.11) : Trajectoire du soleil à Blida.

6.2.3. Données météorologiques du site :

Pour avoir les données météorologiques on doit d'abord choisir la source de nos données soit météonorme ou NASA-SSE.

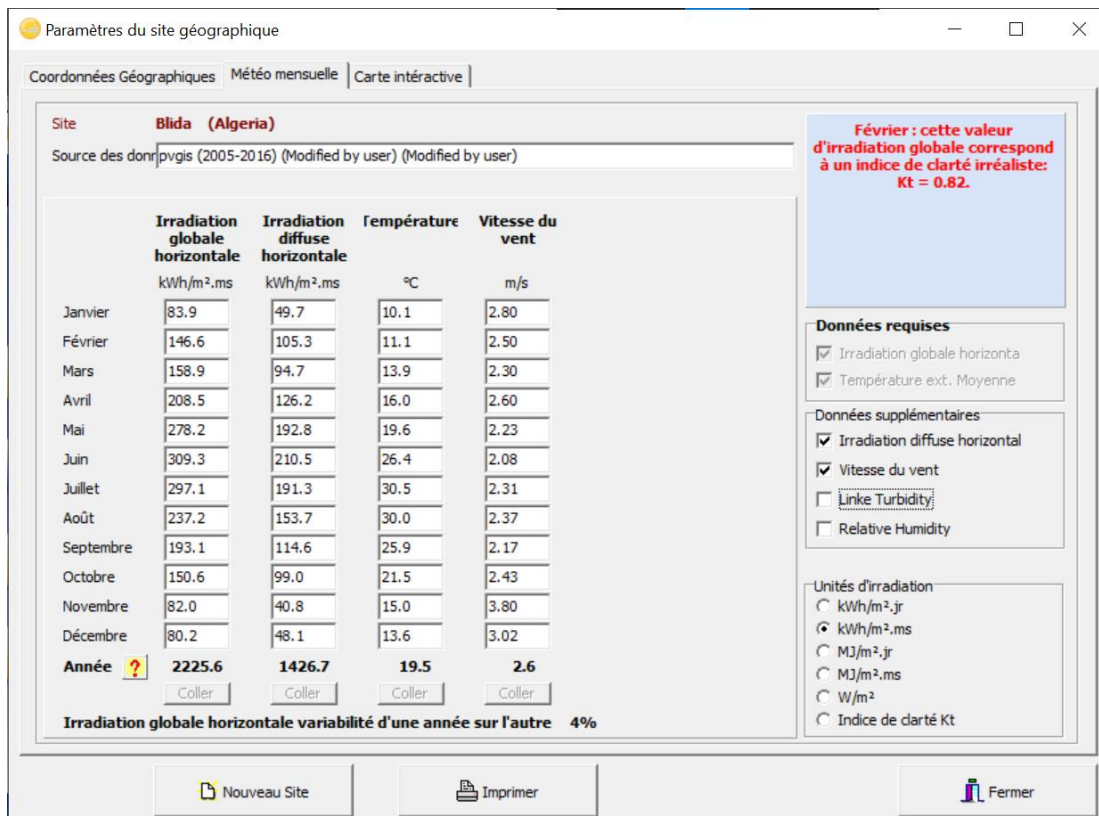


Figure (III.12) : Données météorologiques du site à étudier

6.3. Inclinaison des panneaux :

Concernant l'angle optimal d'inclinaison, on prend 32° car elle assure entre l'efficacité et la stabilité des panneaux.

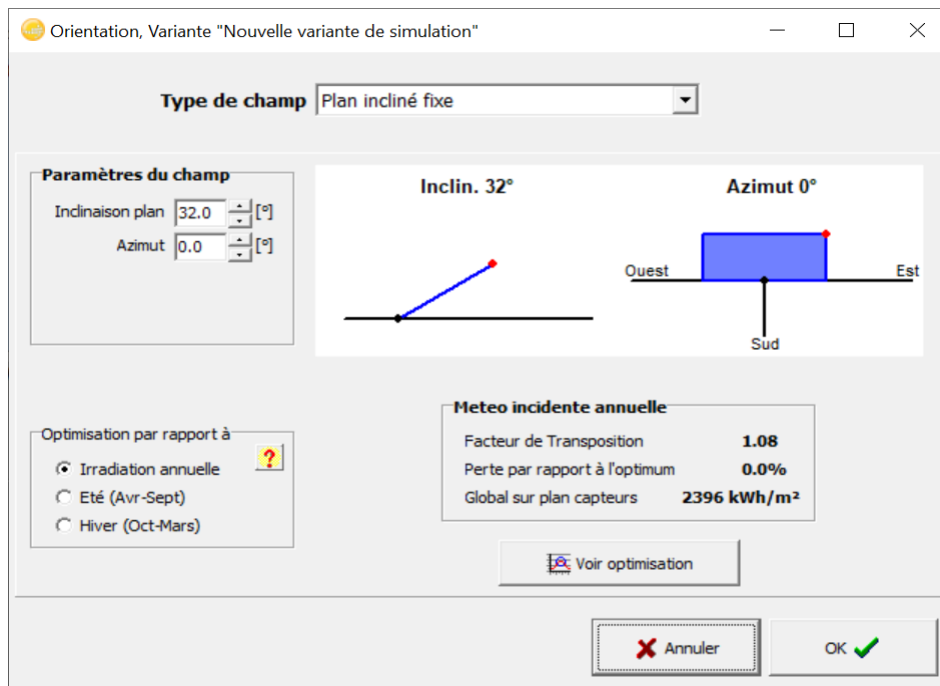


Figure (III.13) : Orientation et inclinaison des panneaux

6.4. Nombres des panneaux et les onduleurs :

Après avoir introduit l'angle d'inclinaison on définit le système PV, on doit juste entrer la puissance crête calculer avant et choisir des panneaux et onduleurs les mêmes ou similaires.

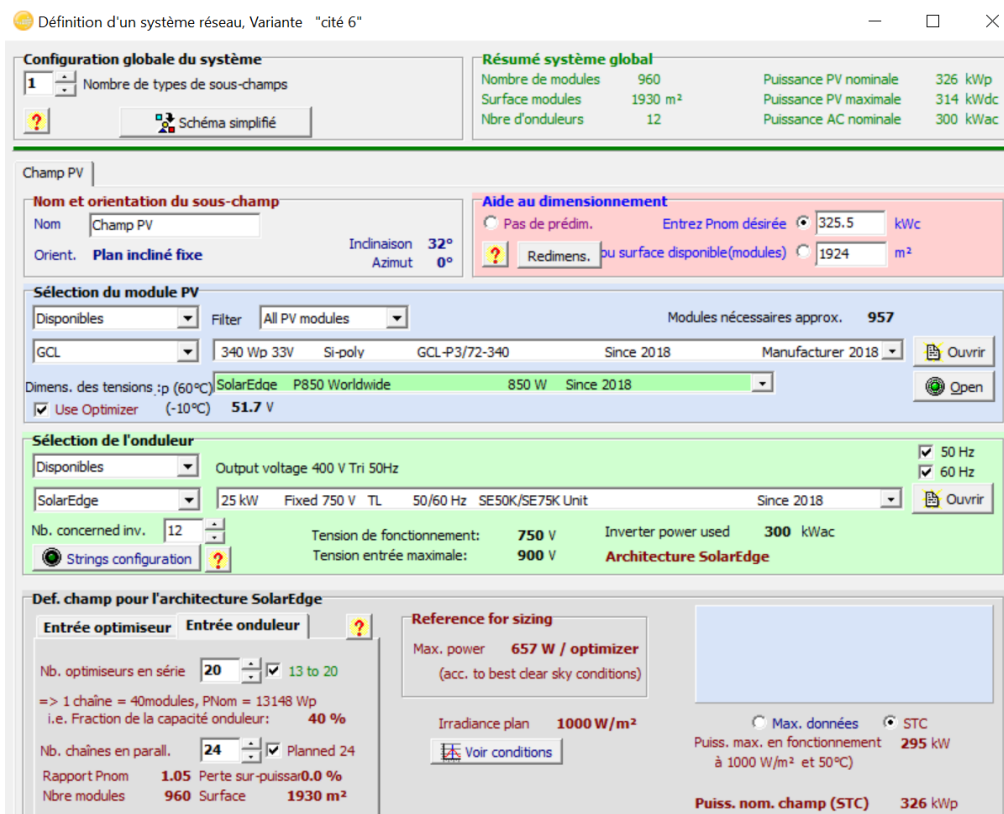


Figure (III.14) : Système PV

On remarque que les nombres de panneaux et des onduleurs nécessaires d'après PVsyst est les mêmes nombres trouver dans la partie analytique. On note aussi l'absence des erreurs de de surdimensionnement ou sous dimensionnement, qui confirme la compatibilité entre les panneaux et les onduleurs.

6.5. L'auto consommation :

Due à la variation des équipements utilisé et leur duré d'utilisation dans la cité on a choisi d'estimer une consommation mensuelle, par exemple l'utilisation des pompes de la chaudière n'est que durant la période d'hivernale (Décembre-Mars) et l'utilisation des climatiseurs n'est que durant la période estivale (Juin-Septembre).

On note que le besoin énergétique est au minimum durant la période des vacances, car l'administration est la seul présente durant cette période.

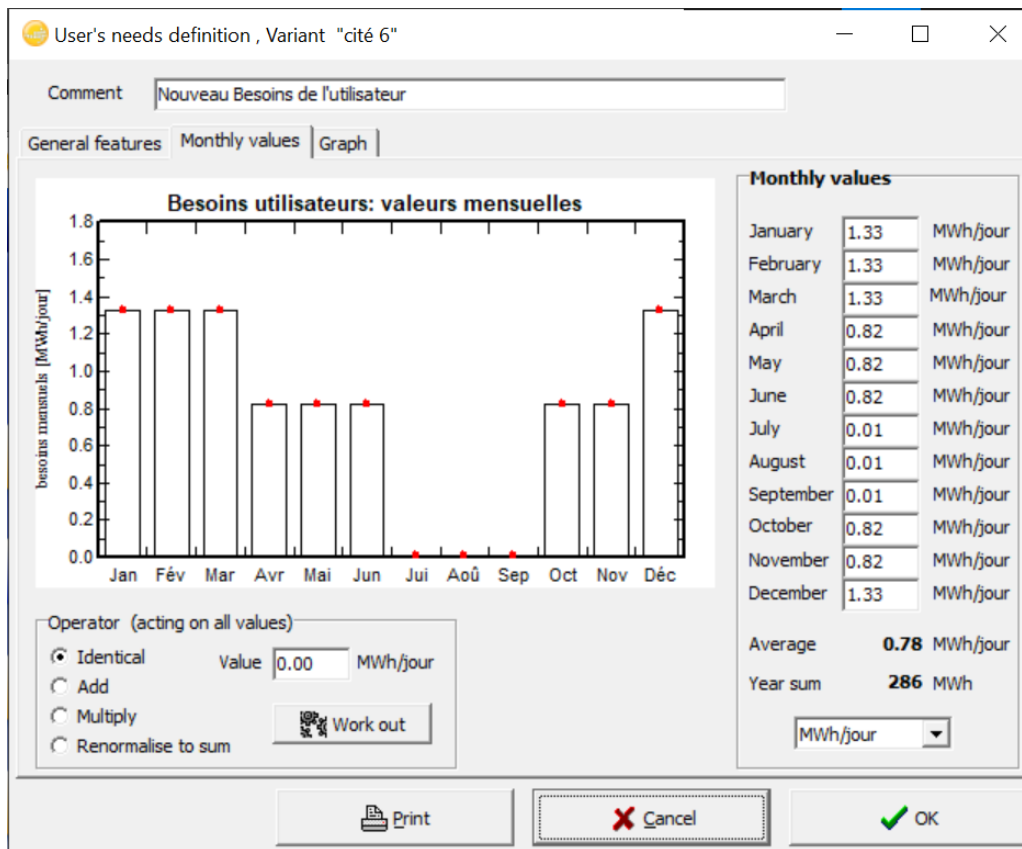


Figure (III.15) : La consommation mensuelle de la cité.

6.6. La position des panneaux sur le toit :

6.6.1. Sur les blocs d'hébergement :

Les panneaux sont posés sur des structures de capacité de 4 panneaux avec une longueur de 4m, une largeur de 1.7m et une hauteur de 1.05m, on peut poser 21 structures au maximum (84 panneaux) avec une distance entre les branches égale à 2.8m.

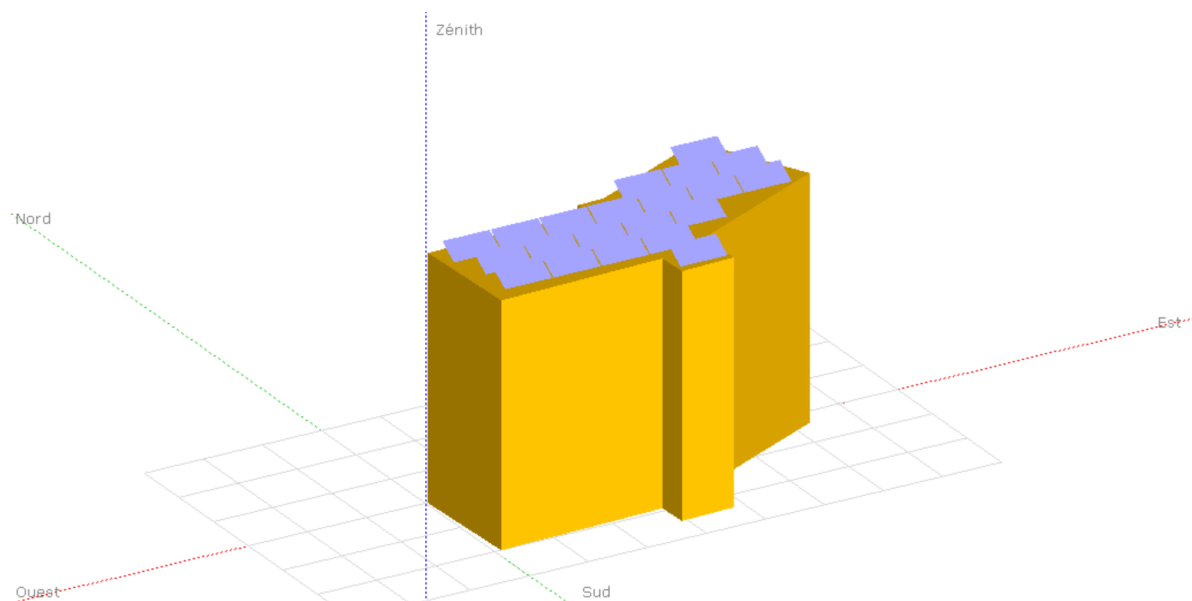


Figure (III.16) : position des modules PV sur toit un bloc d'hébergement

6.6.2. Sur le restaurant :

On a utilisé la même structure utilisée sur les blocs d'hébergement la surface peut comporter jusqu'à 132 structures (528 panneaux).

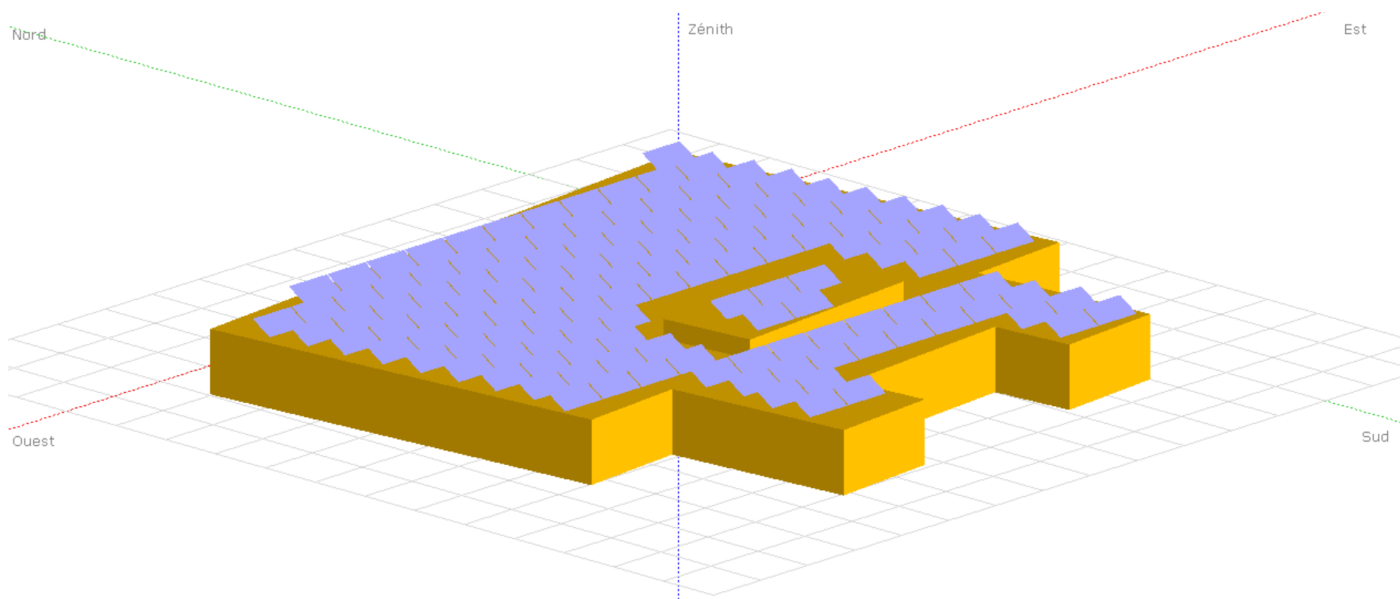


Figure (III.17) : position des modules PV sur le toit du restaurant

6.7. Résultats de la simulation :

Les principaux résultats de la simulation sur PVsyst sont présentés sous forme des graphes, tableaux et un rapport final.

6.7.1. Diagramme d'entrée/sortie journalière :

Diagramme d'entrée/sortie journalier

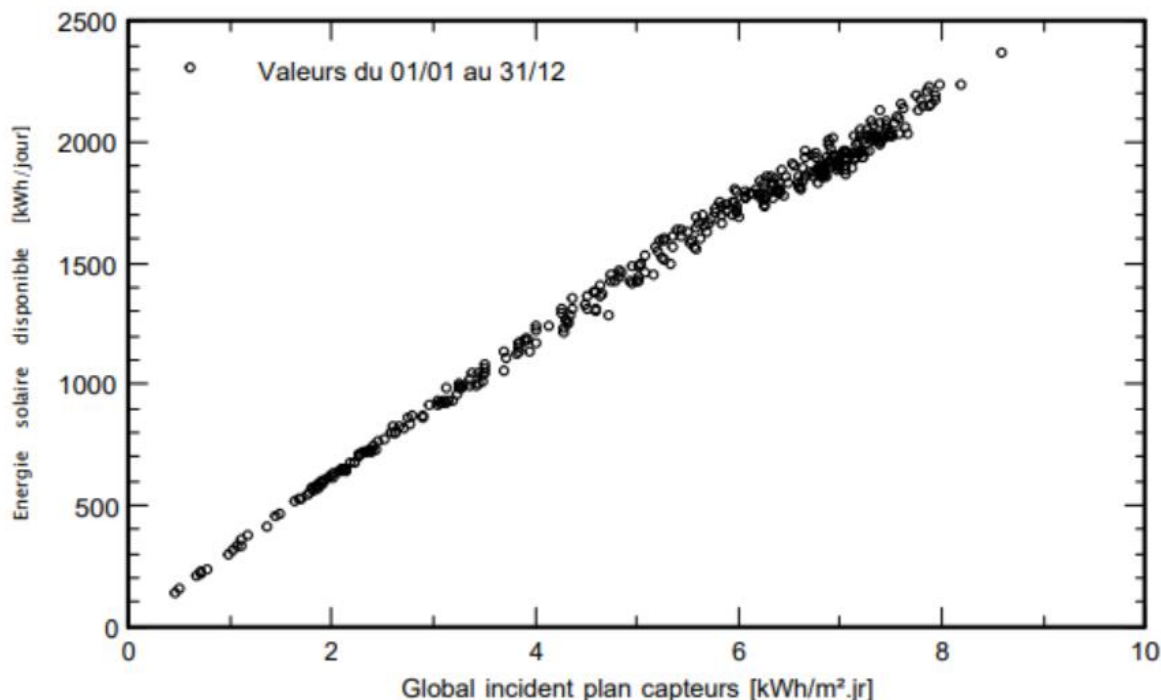


Figure (III.18) : Diagramme d'entrée/sortie journalier de notre système.

Le diagramme implique l'énergie produite par le système en fonction de l'irradiation d'entrée, qui veut dire que l'énergie absorbé devrait augmenter d'une façon linéaire avec l'irradiation à tout moment.

Dans notre cas le schéma indique que le système fonctionne correctement et cela est indiqué par la plupart des point conservés sur la ligne raide.

6.7.2. Les productions normalisées :

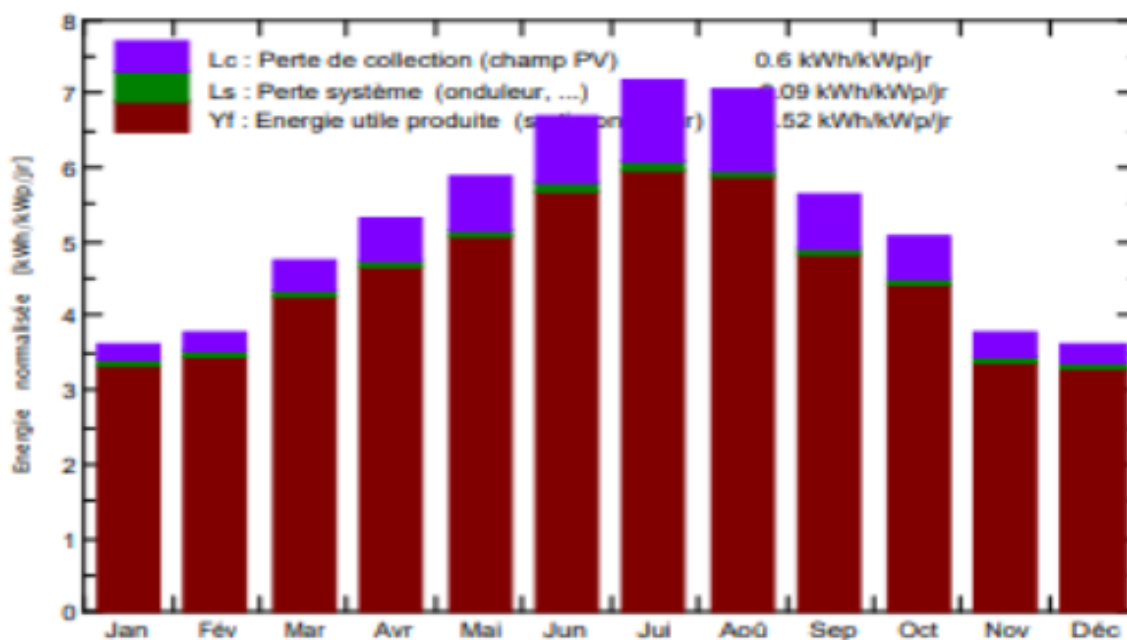


Figure (III.19) : Les productions normalisées annuelle.

On remarque que les pertes sont négligeables qui confirme l'efficacité du système.

6.7.3. Bilan énergétique de la simulation :

Tableau (III.6) : Bilan énergétique de la simulation.

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_User MWh	E_Solar MWh	E_Grid MWh	EFrGrid MWh
Janvier	73.9	34.56	8.86	112.6	110.9	34.39	41.14	13.25	20.45	27.89
Février	77.8	36.26	8.95	106.1	104.4	32.23	37.24	12.74	18.82	24.50
Mars	124.9	57.74	11.44	147.7	144.9	43.90	41.23	16.13	26.88	25.10
Avril	152.7	68.95	14.53	159.7	156.0	46.65	24.69	11.23	34.47	13.46
Mai	190.4	78.99	17.85	181.7	177.3	52.24	25.42	12.45	38.74	12.97
Juin	217.6	80.15	22.04	200.8	195.9	56.70	24.60	12.66	42.91	11.94
Juillet	235.7	73.81	25.88	222.9	217.9	61.66	0.22	0.13	60.31	0.09
Août	210.3	69.15	25.59	218.5	214.1	60.49	0.22	0.12	59.18	0.10
Septembre	148.6	62.95	22.04	169.5	166.1	48.15	0.21	0.10	47.09	0.11
Octobre	118.8	47.68	18.57	157.8	155.1	45.66	25.42	10.47	34.28	14.95
Novembre	74.9	29.80	13.04	113.0	111.4	33.69	24.60	8.22	24.77	16.38
Décembre	68.3	28.53	9.78	111.6	110.0	34.04	41.23	12.90	20.45	28.33
Année	1693.9	668.57	16.59	1901.9	1864.2	549.79	286.21	110.41	428.35	175.80

Légendes: GlobHor	Irradiation globale horizontale	GlobEff	Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages
DiffHor	Irradiation diffuse horizontale	EArray	Energie effective sortie champ
T_Amb	Température ambiante	E_User	Energie fournie à l'utilisateur
GlobInc	Global incident plan capteurs	E_Solar	Energie du soleil
		E_Grid	Energie injectée dans le réseau
		EFrGrid	Energie du réseau

D'après les résultats énumérés sur le tableau (III.6) on remarque qu'un grand pourcentage d'énergie générer par le champ PV est injecter dans le réseau public, avec une consommation de l'énergie du dit réseau. Cela est due l'augmentation de la demande énergétique de la cité le soir (retour des étudiants à la cité).

6.7.4. Diagramme des pertes annuelle :

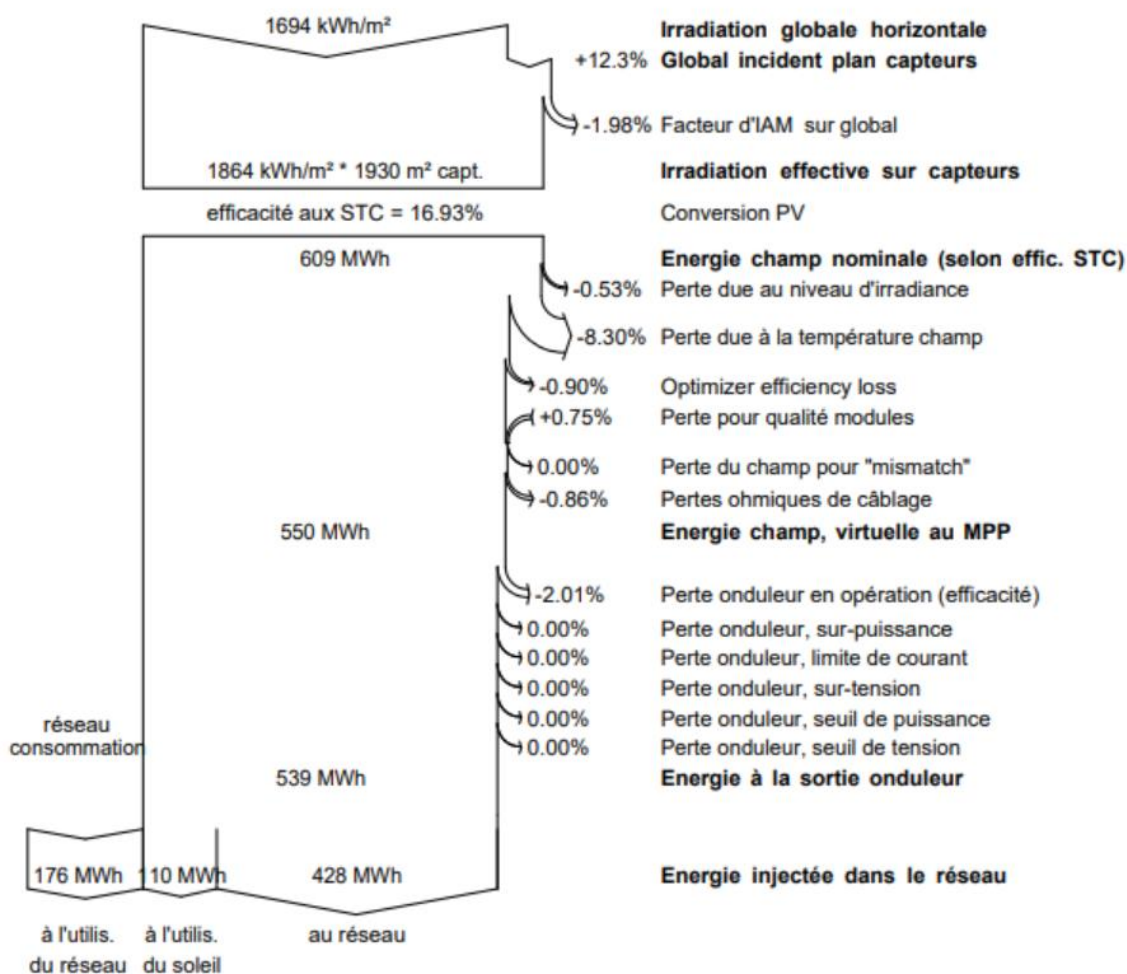


Figure (III.20) : Diagramme des pertes du système annuelle.

On remarque que le système a peu de pertes généralement des pertes dues à la température du champ PV, pertes ohmiques du câblages et effet d'incidence.

7. Système d'appoint :

Dues à la présence des chambres froide, caméras de surveillance, chaudière générale et éclairage interne dans la cité pour des mesure de sécurité un système d'appoint est obligatoire, on note que la cité est équipée par un groupe électrogène d'une puissance nominale de 85KVA.



Figure (III.21) : Groupe électrogène de la cité universitaire.

8. Calcule des caractéristiques éléments de protection électrique :

8.1. Calibre du fusible pour les branches :

- La tension de fonctionnement d'un fusible est calculée par :

$$T_f = 1.15 \times V_{CO} \times N_{br} \text{ Panneaux en série [III.12]}$$

$$T_f = 1.15 \times 46.11 \times 20 = 1060.53 \text{ V}$$

- Le calibre du fusible est calculé par la méthode suivante :

$$1.5 \times I_{cc} \times N_{br} \text{ Branches en parallèle} \leq \text{calibre de fusible} \leq 2 \times I_{cc} \times N_{br} \text{ Branches en parallèle [III.13]}$$

$$1.5 \times 9.64 \times 2 \leq \text{calibre de fusible} \leq 2 \times 9.64 \times 2$$

$$28.92 \text{ A} \leq \text{calibre de fusible} \leq 38.56 \text{ A}$$

8.2. Sectionneur DC :

- Tension assignée :

Tension assignée $\geq 1.15 \times V_{CO} \times \text{Nbr Panneaux en série}$

Tension assignée $\geq 1.15 \times 46.11 \times 20 = 1060.53 \text{ V}$

- Intensité nominale :

Intensité nominale $\geq 1.5 \times I_{CC} \times \text{Nbr Branches en parallèle}$

Intensité nominale $\geq 28.92 \text{ A}$

8.3. Parafoudre DC :

Le parafoudre DC choisi est de :

- Courant maximal de 40 KA
- Tension maximale de 1000 Vdc

8.4. Parafoudre AC :

Le parafoudre AC choisi est de :

- Courant maximal de 40 KA
- $U_{CPV} = 320 \text{ V}$

8.5. Disjoncteur différentiel DC :

- Tension assignée :

Tension assignée $\geq 1.15 \times V_{CO} \times \text{Nbr Panneaux en série}$

Tension assignée $\geq 1.15 \times 46.11 \times 20 = 1060.53 \text{ V}$

- Intensité nominale :

Intensité nominale $\geq 1.5 \times I_{CC} \times \text{Nbr Branches en parallèle}$

Intensité nominale $\geq 28.92 \text{ A}$

8.6. Disjoncteur différentiel AC :

On va utiliser des disjoncteur Schneider A9Z21440

Nombre de pôles : 3P+N

Calibre :

- Intensité : 40A
- Tension : 400VAC
- Degré de protection IP : IP20 se conformer à IEC 60529

8.7. La mise à la terre :

On pose une barre en cuivre isolé 16mm² d'épaisseur pour chaque mini système.

Conclusion :

En conclusion, ce chapitre a présenté une analyse approfondie du dimensionnement et de l'analyse d'un système photovoltaïque (PV) pour répondre aux besoins électriques d'un site spécifique. Nous avons examiné l'importance de la description du site, l'évaluation du gisement solaire local, la détermination de l'orientation et de l'inclinaison des panneaux solaires, ainsi que le dimensionnement analytique et l'utilisation du logiciel PVsyst.

Cette analyse approfondie constitue une base solide pour le développement d'un système PV fiable, efficace et adapté aux besoins énergétiques du site étudié. Le prochain chapitre abordera les aspects financiers liés à l'installation et à la mise en œuvre concrète du système photovoltaïque.

CHAPITRE 4

ETUDE TECHNIQUE ET ECONOMIQUE DE L'INSTALLATION

Introduction :

Ce chapitre se concentre sur l'évaluation financière du projet de l'installation photovoltaïque en analysant le coût de revient, l'amortissement du projet et le bénéfice potentiel. L'analyse financière est essentielle pour évaluer la viabilité économique d'un tel projet et prendre des décisions éclairées.

1. Coût de revient de l'installation :

Dans notre prospection du marché national on a constaté qu'il y a deux alternatives :

- La première consiste à s'approvisionner en matériels disponibles sur le marché national.
- La deuxième est d'importer le matériel nécessaire de la Chine dont le rapport qualité/prix est meilleur.

1.1. Devis quantitatif et estimatif de l'installation avec un équipement approvisionné localement :

Tableau (IV.1) : Devis quantitatif et estimatif de l'installation avec un équipement approvisionné localement.

N°	Equipement	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)	
1	F/P panneau PV 340W polycristallin (IFRISOL)	U	1000	25 150.00	25 150 000.00	
2	F/P structure métallique galvanisé	U	240	22 000.00	5 280 000.00	
3	F/P Onduleur solaire on-grid 25KW (GOODWEE)	U	12	355 850.00	4 270 200.00	
4	F/P socle de béton	M ³	25	30 000.00	750 000.00	
5	F/P câble solaire 2.5mm ² (deux couleurs différent RN)	ML	1350	130.00	175 500.00	
6	F/P câble AC (deux couleurs différent RN)	ML	40	4 000.00	160 000.00	
7	F/P boîte de jonction	U	12	10 000.00	120 000.00	
8	F/P coffret DC (fusibles, parafoudre, disjoncteur et une mise à la terre)	U	12	30 000.00	360 000.00	
9	F/P coffret AC (fusibles, parafoudre, disjoncteur et une mise à la terre)	U	8	20 000.00	160 000.00	
10	F/P piquet de mise à la terre	U	8	1 000.00	8 000.00	
					TOTAL EN HT : hors taxe	36 433 700.00
					TVA 19% :	6 922 403.00
					TOTAL EN TTC TOUS TAXE COMPRIS	43 356 103.00

1.2. Devis quantitatif et estimatif de l'installation avec un équipement importé avec un type d'onduleur :

Tableau (IV.2) : Devis quantitatif et estimatif de l'installation avec un équipement importé avec un type d'onduleur.

N°	Equipement	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
1	F/P panneau PV 340W polycristallin (JINKO)	U	1000	13 928.32	13 928 321.00
2	F/P structure métallique galvanisé	U	240	22 000.00	5 280 000.00
3	F/P onduleur solaire on-grid 25KW (GROWATT)	U	12	197 692.26	2 372 307.17
4	F/P socle de béton	M ³	25	30 000.00	750 000.00
5	F/P câble solaire 2.5mm ² (deux couleurs différent RN)	ML	1350	130.00	175 500.00
6	F/P câble AC (deux couleurs différent RN)	ML	40	4 000.00	160 000.00
7	F/P boîte de jonction	U	8	10 000.00	80 000.00
8	F/P coffret DC (fusibles, parafoudre, disjoncteur et une mise à la terre)	U	8	30 000.00	240 000.00
9	F/P coffret AC (fusibles, parafoudre, disjoncteur et une mise à la terre)	U	8	20 000.00	160 000.00
10	F/P piquet de mise à la terre	U	8	1 000.00	8 000.00
				TOTAL EN HT	23 154 128.17
				TVA 19%	4 399 284.35
				TOTAL EN TTC	27 553 412.52

1.3. Devis quantitatif et estimatif de l'installation avec un équipement importé avec deux types d'onduleur :

Tableau (IV.3) : Devis quantitatif et estimatif de l'installation avec un équipement importé avec deux types d'onduleur.

N°	Equipement	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
1	F/P panneau PV 340W polycristallin (JINKO)	U	1000	13 928.32	13 928 321.00
2	F/P structure métallique galvanisé	U	240	22 000.00	5 280 000.00
3	F/P onduleur solaire on-grid 25KW (GROWATT)	U	7	197 692.26	1 383 845.85
4	F/P onduleur solaire on-grid 125KW (GROWATT)	U	1	780 557.70	780 557.70
5	F/P socle de béton	M ³	25	30 000.00	750 000.00
6	F/P câble solaire 2.5mm ² (deux couleurs différent RN)	ML	1350	130.00	175 500.00
7	F/P câble AC (deux couleurs différent RN)	ML	40	4 000.00	160 000.00
8	F/P boîte de jonction	U	8	10 000.00	80 000.00
9	F/P coffret DC (fusibles, parafoudre, disjoncteur et une mise à la terre)	U	8	30 000.00	240 000.00
10	F/P coffret AC (fusibles, parafoudre, disjoncteur et une mise à la terre)	U	8	20 000.00	160 000.00
11	F/P piquet de mise à la terre	U	8	1 000.00	8 000.00
				TOTAL EN HT	22 946 224.54
				TVA 19%	4 359 782.66
				TOTAL EN TTC	27 306 007.21

2. Amortissement du projet :

La consommation de la cité est généralement la soirée, ajoutant à cela les périodes des vacances donc la majeure partie de l'énergie produite par notre installation n'est pas utilisable pour les besoins de la cité.

Et vu que notre installation est connectée au réseau national de l'électricité géré par la SONELGAZ donc on a la possibilité d'injecter le surplus de l'énergie produite dans le réseau national, pour amortir le cout de l'investissement engagé pour mettre en place cette l'installation.

En prenant compte que - d'après la SONELGAZ- le tarif d'injection est le triple du tarif de la consommation.

- **Tarification de la consommation du réseau Sonelgaz :**

De 17h00 -- 21h00 heures de pointes à 7.163 DA/kWh

De 06h00 -- 17h00 et de 21h00--22h30 heures pleines à 1.911 DA/kWh

De 22h30 -- 06h00 heures creuses à 1.064DA/kWh. [10]

D'après ces tarifications ont conclu que le cout d'injection sera $1.911 \times 3 = 5.7$ DA/kWh.

2.1. Estimation de la durée nécessaire pour amortir le projet :

D'après les résultats obtenus dans le chapitre précédent l'énergie annuelle injecter par l'installation est estimés en environs 428Mwh/ans moins l'énergie du réseau consommé.

$$C_{net} = (E_{Grid} \times 5.7) - (E_{FrGRID} \times 2)$$

Avec :

C_{net} : cout entrant annuelle net.

AN :

$$C_{net} = (428 \times 10^3 \times 5.7) - (175 \times 10^3 \times 1.5) = 2177100.00 \text{ DA/ans.}$$

- **Durée nécessaire :**

Pour obtenir la durée on doit juste diviser le cout total du l'installation sur le cout annuelle net.

- En cas d'utilisation l'équipement approvisionné localement :

$$D_n = \frac{C_t}{C_{net}} = \frac{43\,356\,103}{2177100} = 19 \text{ ans.}$$

- En cas d'utilisation l'équipement d'importation :

$$D_n = \frac{C_t}{C_{net}} = \frac{27\,553\,412.52}{2177100} = 12 \text{ ans.}$$

3. Le bénéfice :

La durée de vie d'un système PV est estimé en environs 25 ans et depuis les résultats précédents en a au minimum 8 ans de bénéfice après l'amortissement du cout du système.

- En cas d'utilisation l'équipement approvisionné localement :

$$\text{Bénéfice} = 6 \times 2177100 = 13062600.00 \text{ DA.}$$

- En cas d'utilisation l'équipement d'importation :

$$\text{Bénéfice} = 13 \times 2177100 = 28302300.00 \text{ DA.}$$

4. Les perspectives :

- Utiliser des panneaux solaires plus efficaces : Les technologies solaires évoluent constamment, et il peut être avantageux de remplacer nos anciens panneaux solaires par des modèles plus récents et plus performants. Les panneaux solaires à haut rendement peuvent produire plus d'électricité à partir de la même surface, ce qui peut maximiser la production de notre système PV.

- Ajouter un système de suivi solaire : Les systèmes de suivi solaire permettent aux panneaux solaires de suivre la trajectoire du soleil tout au long de la journée, maximisant ainsi l'exposition aux rayons solaires. Cela peut augmenter la production d'électricité jusqu'à 25 % par rapport à des panneaux fixes. L'ajout d'un système de suivi solaire peut être une option intéressante si on a suffisamment d'espace pour son installation.
- Installer des batteries de stockage d'énergie : L'ajout de batteries de stockage d'énergie à notre système PV on-grid nous permet de stocker l'électricité excédentaire produite pendant la journée pour une utilisation ultérieure, notamment pendant la nuit ou en cas de coupure de courant. Les batteries nous aident à maximiser l'autoconsommation de notre énergie solaire et à réduire notre dépendance au réseau électrique.
- Surveiller et optimiser les performances : Mettre en place un système de surveillance pour suivre les performances de notre installation solaire en temps réel. Cela nous permettra de détecter rapidement tout problème éventuel et de prendre des mesures correctives. Nous pouvons également optimiser les performances en nettoyant régulièrement les panneaux solaires pour éliminer la poussière ou d'autres obstructions qui pourraient réduire leur efficacité.
- Considérer l'optimisation de l'autoconsommation : Analyser notre consommation d'électricité et identifier les moyens d'augmenter l'autoconsommation de l'énergie solaire produite par notre système PV. Cela peut inclure des ajustements dans notre emploi du temps pour utiliser les appareils électriques pendant les heures de production solaire maximale ou l'installation de dispositifs intelligents pour gérer la consommation énergétique.
- Planifier un entretien régulier : Un entretien régulier de notre système PV est essentiel pour maintenir ses performances optimales. Planifier des inspections périodiques, vérifier les connexions électriques, nettoyer les panneaux solaires et remplacer les composants défectueux si nécessaire. Un entretien approprié peut prolonger la durée de vie de notre système et assurer un rendement maximal.

Conclusion :

L'analyse du coût de revient a permis de comparer les coûts associés à l'utilisation d'équipements approvisionnés localement et d'équipements importés. Cette évaluation quantitative a fourni des informations précieuses pour prendre des décisions d'approvisionnement et évaluer l'impact sur le budget global du projet.

L'amortissement du projet a été étudié pour estimer la durée nécessaire pour récupérer les investissements initiaux. Cette analyse a tenu compte des coûts d'investissement, des revenus générés par l'installation photovoltaïque et des dépenses opérationnelles. Elle permet de déterminer la rentabilité à long terme du projet et de planifier les flux de trésorerie futurs.

Enfin, l'analyse du bénéfice potentiel a mis en évidence les revenus générés par la vente de l'électricité produite par l'installation photovoltaïque. Cette analyse a également pris en compte les économies sur la facture d'électricité et les avantages fiscaux, contribuant ainsi à évaluer le rendement financier global du projet.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Salim Djriou, « Simulation d'un système photovoltaïque alimentant une machine asynchrone », thèse magistère, université Ferhat Abbas-Sétif, 2011.
- [2] Soltane Belakehal, « Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables », thèse doctorat, université de Constantine.
- [3] Dr. Sofia Belaid Lalouni, « Cours Energie Solaire Photovoltaïque », Université A.Mira de Bejaia, 2015.
- [4] ASAL. (L'Atlas Solaire de l'Algérie par l'Agence Spatiale Algérienne). Energie nouvelle et renouvelable)
- [5] Abdelkader Mekemeche, « Modélisation à deux dimensions des propriétés physiques de cellules solaires au silicium à base de substrat de type n, Étude de quelques cas particuliers de cellules innovantes », Thèse de Doctorat, L'Université Abdel Hamid Ibn Badis de Mostaganem, 2017.
- [6] Intelligent énergie Europe [.energie bits.com](http://energie.bits.com)
- [7] <https://meteosorguaiseetavignonnoise.com/les-nuages.html>
- [8] <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Saison.html>
- [9] M. SENECHAL, Cours Photovoltaïque Université de Lille, France 2017
- [10] <https://www.etoile-des-enfants.ch/article1635.html>
- [11] Anne Labouret, Michel Viloz : « Energie solaire photovoltaïque », Dunod 3ème édition 2006
- [12] Kamelia Hellali, « Modélisation d'une cellule photovoltaïque : étude comparative », université Tizi-Ouzou, mémoire de magister, 2012.
- [13] Salaheddine Bensalem, « Effets de la température sur les paramètres et caractéristiques des cellules solaire », université Farhat Abbas- Setif, mémoire de magister, 2011.
- [14] Othmane Benseddik, Fathi Djaloud, « Etude et optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque », mémoire de master, université Kasdi Marbah- Ouargla, 2012
- [15] J'apprends l'énergie, GDF SUEZ 2013, (énergie renouvelable).
- [16] Djamil Boukhers , « optimisation d'un système d'énergie photovoltaïque application au pompage », Université Mentouri de Constantine, thèse magister, 2007.
- [17] Ressources pour les STIED, Septembre- Octobre 2011

- [18] Kamelia Hellali, « Modélisation d'une cellule photovoltaïque : étude comparative », université Tizi-Ouzou, mémoire de magister , 2012.
- [19] Salaheddine Bensalem, « Effets de la température sur les paramètres et caractéristiques des cellules solaire », université Farhat Abbas- Setif, mémoire de magister, 2011.
- [20] Narimen Debili, « Etude et optimisation en environnement Matlab/Simulink d'un système de pompage photovoltaïque », mémoire de magister, université Constantine 1, 2015
- [21] Souheyla Merad née Mamoun, « Dimensionnement d'une Installation Photovoltaïque d'un lieu peu fréquenté : Cas d'un Cabanon Situé à Marsat Ben M'Hidi (Tlemcen) », master LMD, L'universite Abou Bekr
- [22] A. Ould Mohamed Yahya, A. Ould Mahmoud et I. Youm. Etude et modélisation d'un générateur photovoltaïque. Revue des Energies Renouvelables, Vol. 11 N°3, 2008, 473 – 483
- [23] <https://www.libow.fr/blog-avis/blog/les-differents-types-de-pose-pour-lespanneaux-solaires>
- [24] Onduleur réseau. Trans énergie. L'énergie du développement durable.
- [25] Cédric CABAL, « Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électrique dédié à la conversion photovoltaïque », Thèse doctorat, Université Toulouse 3. 15 décembre 2008
- [26] Violaine Didier. « Les Onduleurs pour Systèmes Photovoltaïques Fonctionnement ». Rapport rédigé sous la direction de Bruno Gaidon. Aout 2007
- [27] Dr.MM.Bouzaki cours energies renouvelables photovoltaïque.USDB
- [28] Dr. Mohamed ZELLAGUI Maître de Conférences Université de Batna 2. Comptage et Compteurs Électrique. IFEG Centre de Formation Ain M'lila.
- [29] institut bruxellois pour la gestion de l'environnement. Module : photovoltaïque. Cours : DIMENSIONNEMENT D'UNE INSTALLATION PV.
- [30] Reza Fachrizal et al “Optimal PV-EV sizing at solar powered workplace charging stations with smart charging schemes considering self-consumption and self-sufficiency balance”département de génie civil à l'université de Uppsala en suède,2022.
- [31] KHAMAL Ahmed Dhiya Edine Anis et SOUILAH Abdelkrim “Dimensionnement et Etude technico-économique d'un système photovoltaïque autonome pour l'alimentation électrique d'une école (CEM) à Bordj Bou Arreridj ” département des énergies renouvelables à l'université de Blida-1-,2022.

CONCLUSION GENERALE

Ce projet de fin d'études a permis d'explorer en profondeur l'énergie photovoltaïque et son utilisation dans le contexte des bâtiments résidentiels. En analysant les aspects techniques, économiques et environnementaux, nous avons pu mettre en évidence les avantages et les opportunités offertes par cette technologie.

L'énergie photovoltaïque se présente comme une solution prometteuse pour répondre aux besoins croissants en électricité de manière propre et durable. En exploitant la puissance du soleil, elle offre une alternative respectueuse de l'environnement, réduisant les émissions de gaz à effet de serre et contribuant ainsi à la lutte contre le changement climatique.

L'étude des équipements d'une installation photovoltaïque nous a permis de comprendre l'importance des générateurs photovoltaïques, des onduleurs réseau, des systèmes de protection électrique et des compteurs électriques dans le bon fonctionnement et la performance globale du système.

Le dimensionnement du système photovoltaïque est une étape cruciale pour assurer une production optimale d'électricité. En prenant en compte des facteurs tels que la localisation géographique, l'orientation et l'inclinaison des panneaux solaires, ainsi que les besoins électriques spécifiques, nous pouvons concevoir des installations photovoltaïques efficaces et adaptées. Nous avons dimensionner notre système analytiquement et par le logiciel PVsyst et nous avons trouvé des résultats identiques (nombres de panneaux et nombres des onduleurs).

Sur le plan économique, malgré les coûts initiaux élevés associés à l'installation d'un système photovoltaïque, il est important de souligner que ces coûts sont en constante baisse. De plus, l'amortissement du projet sur le long terme, combiné aux économies réalisées sur les factures d'électricité, rend l'énergie photovoltaïque de plus en plus compétitive par rapport aux sources d'énergie conventionnelles.

En conclusion, l'énergie photovoltaïque représente une solution énergétique d'avenir, offrant des avantages significatifs en termes d'indépendance énergétique, de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de durabilité. Grâce à une étude approfondie des différents aspects techniques, économiques et environnementaux, il est possible de maximiser l'efficacité et le rendement des installations photovoltaïques, contribuant ainsi à la transition vers un avenir énergétique plus propre et plus durable.

I. Fiches techniques des panneaux solaire :

Pour réussir le choix des panneaux solaires, techniquement il faut tout d’abord savoir les conditions météorologiques de la région ainsi que les technologies des cellules photovoltaïques disponible, faire des tests pour évaluer la qualité des panneaux et enfin l’analyse et la comparaison par la lecture des fiches techniques des panneaux solaire disponible dans le marché comme elle montre La figure suivante :

1. IFRISOL :

IFRI-SOL
customized electricity
WWW.ifrisol.solar

High Performance Full Cell Photovoltaic Modules

5BB POLY CRYSTALLINE MODULE
330W-335W-340W-345W

Key Features:

- High Efficiency Poly Perc Solar Cells
- Higher Power Output
- High Snow (5400Pa) and Wind Loads (2400Pa)
- Excellent Outstanding Weather-Resistance
- Dual EL Inspection
- Excellent Low Light Performance
- Excellent PID Resistance

25 years warranty

Linear High Performance Guaranteed

10 Years Product Warranty on 91.20% of the Nominal Performance¹
25 Years Linear Power Output Warranty on 80.70% of the Nominal Performance¹

Certifications

- IEC 61215, IEC 61730: ID 1111220240
- IEC 61701:2011, EN 61701:2012: ID 1111223964
- IEC 62716:2013, EN 62716:2013: ID 1111223965
- IS 14286 / IEC 61215, IS/IEC 61730 - 1&2: R- 41151432

Management system TÜV-Certified

- ISO 9001:2015: ID 011001317684
- ISO 14001: 2015: ID 011041317684
- ISO 45001:2018: ID 011131815622

Warranted Module Performance

Graph showing Warranted Module Performance (%) vs Years (0 to 25). IFRISOL Warranty Added Value starts at 97.5% at year 0 and reaches 80.70% at year 25. Commercial level warranty starts at 91.20% at year 0 and reaches 80% at year 25.

¹According to the IFRI-SOL Product and Performance Warranty

ISO 9001:2015 CERTIFIED, TÜV Rheinland, TÜV NORD, ISO 14001, ISO 45001

1.1. Caractéristique des panneaux en condition STC (I=1000W/m², T=25°C, AM=1.5g) :

Module Type	Nominal Power Pmpp	Nominal Voltage Umpp	Nominal Current Impp	Open Circuit Voltage (Uoc)	Short Circuit Current (Isc)	Module Conversion Efficiency
IF-P330-72	330Wp	36.63V	9.01A	45.41V	9.48A	16.66%
IF-P335-72	335Wp	36.98V	9.06A	45.76V	9.56A	16.91%
IF-P340-72	340Wp	37.33V	9.11A	46.11V	9.64A	17.16%
IF-P345-72	345Wp	37.67V	9.16A	46.36V	9.72A	17.42%

1.2. Caractéristique des panneaux en condition NOCT ($I=800\text{W/m}^2$, $T=20^\circ\text{C}$, $V_{\text{vent}}=1\text{m/s}$) :

Module Type	Nominal Power Pmpp	Nominal Voltage Umpv	Nominal Current Impv	Open Circuit Voltage (Uoc)	Short Circuit Current (Isc)
IF-P330-72	266.64Wp	33.67V	7.92A	42.45V	8.39A
IF-P335-72	271.50Wp	34.07V	7.97A	42.80V	8.47A
IF-P340-72	276.36Wp	34.46V	8.02A	43.15V	8.55A
IF-P345-72	281.22Wp	34.85V	8.07A	43.50V	8.63A

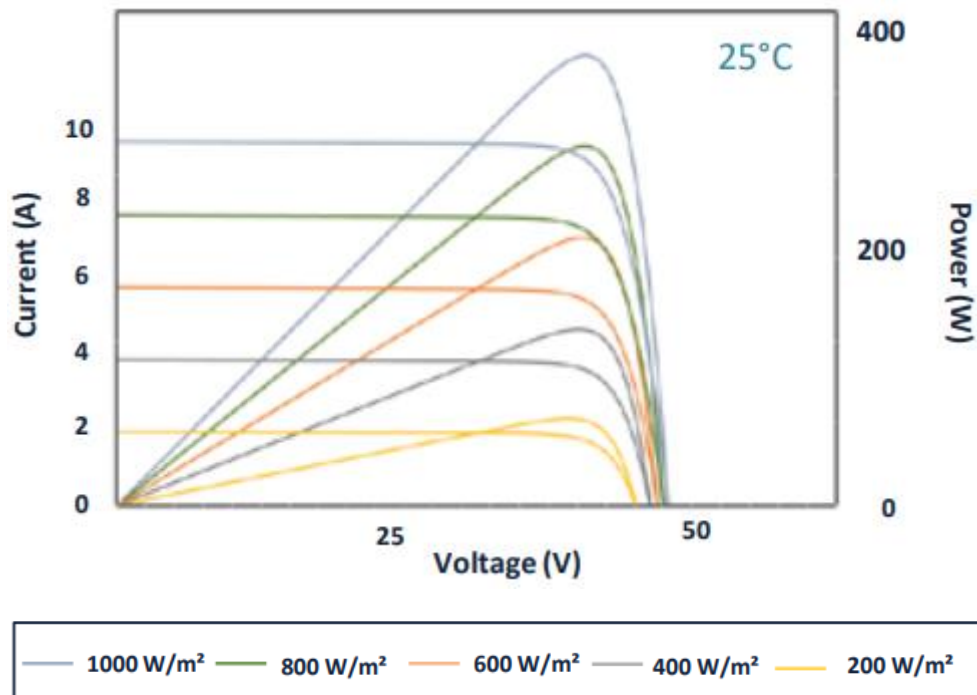
1.3. Les coefficients de température et d'éclairément :

Voltage Uoc (β)	-0.32%/°C
Current Isc (α)	+0.05%/°C
Output Power (γ)	-0.41%/°C
NMOT	45±2°C

1.4. Conditions du fonctionnement :


Maximum System Voltage	1500VDC
Maximum Series Fuse	20A
Operating Temperature Range	From -40°C to 85°C
Mechanical Load Test (Front/back)	5400Pa/2400Pa

1.5. Courbe I-V :



2. JINKO :

www.jinkosolar.com



Tiger N-Type 60TR


355-375 Watt

MONO FACIAL ALL BLACK











N-Type

Positive power tolerance of 0~+3%


IEC61215(2016), IEC61730(2016)
 ISO9001:2015: Quality Management System
 ISO14001:2015: Environment Management System
 ISO45001:2018
 Occupational health and safety management systems



Key Features

<div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 10px;">  <div> <p>Multi Busbar Technology</p> <p>MBS solar cell adapts new technology to improve the efficiency of modules, offers a better aesthetic appearance.</p> </div> </div> <hr/> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 10px;">  <div> <p>PID Resistance</p> <p>Excellent Anti-PID performance guarantee via optimized mass-production process and materials control.</p> </div> </div> <hr/> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 10px;">  <div> <p>Durability Against Extreme Environmental Conditions</p> <p>High salt mist and ammonia resistance.</p> </div> </div>	<div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 10px;">  <div> <p>Hot 2.0 Technology</p> <p>The N-type module with Hot 2.0 technology has better reliability and lower LID/LETID.</p> </div> </div> <hr/> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 10px;">  <div> <p>Enhanced Mechanical Load</p> <p>Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).</p> </div> </div> <hr/> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">      </div>
---	---

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY



25 Year Product Warranty

30 Year Linear Power Warranty

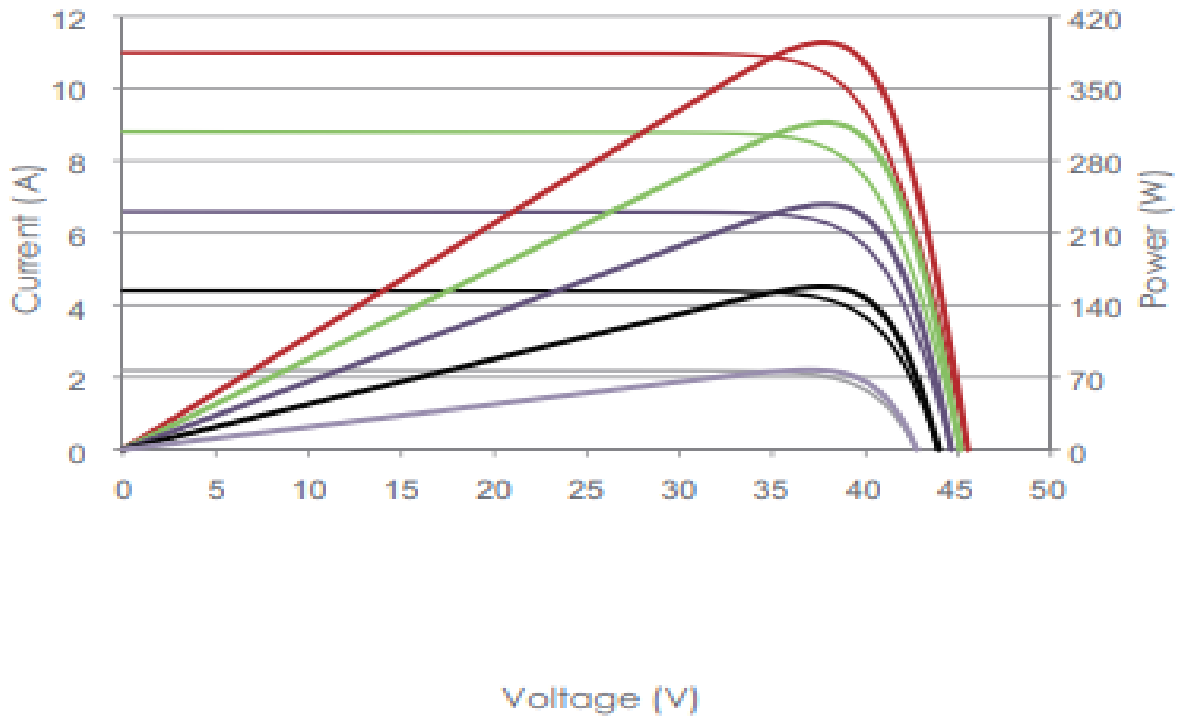
0.4% Annual Degradation Over 30 years

2.1. Caractéristique des modules :

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM355N-6TL3-B		JKM360N-6TL3-B		JKM365N-6TL3-B		JKM370N-6TL3-B		JKM375N-6TL3-B	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	355Wp	265Wp	360Wp	268Wp	365Wp	272Wp	370Wp	276Wp	375Wp	280Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	34.30V	31.74V	34.49V	31.88V	34.67V	32.02V	34.84V	32.15V	35.02V	32.29V
Maximum Power Current (Imp)	10.35A	8.34A	10.44A	8.42A	10.53A	8.50A	10.62A	8.58A	10.71A	8.66A
Open-circuit Voltage (Voc)	41.92V	39.57V	42.11V	39.75V	42.29V	39.92V	42.48V	40.09V	42.67V	40.27V
Short-circuit Current (Isc)	10.93A	8.83A	11.02A	8.90A	11.11A	8.97A	11.20A	9.05A	11.29A	9.12A
Module Efficiency STC (%)	20.38%		20.66%		20.95%		21.24%		21.53%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum System Voltage	1000VDC (IEC)									
Maximum Series Fuse Rating	20A									
Power Tolerance	0~+3%									
Temperature Coefficients of Pmax	-0.34%/°C									
Temperature Coefficients of Voc	-0.28%/°C									
Temperature Coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45±2°C									

2.2. Courbe I-V :



3. YINGLI :



108 CELL
CELL QUANTITY

0-5 W
POWER TOLERANCE

12 YEAR
PRODUCT WARRANTY

25 YEAR
POWER WARRANTY





YINGLISOLAR.COM



IMPROVED POWER NEVER SETTLE FOR LESS

PANDA 3.0 modules use the industry's cutting-edge n-type monocrystalline TOPCon cell technology. With high quality encapsulation materials and classic glass-backsheet structure, PANDA3.0 modules are perfectly suited to the harsh environment and provide you with high reliability and quality assurance.

-  **Classic Structure**
The glass-backsheet structure and layout design have been proven in the market for a long time.
-  **Superior Yield**
The large size cell enhances the module's power output, with the excellent temperature coefficient, superior low light performance and comprehensive LID/LeTID degradation suppression technology, allows the module to generate more energy yield once in use.
-  **Excellent Durability**
The modules meet IEC standard testing requirements and are resistant to salt mist, ammonia, dust and sand, snail trail and PID risks.
-  **Wide Applications**
The glass-backsheet structure, special material selection and extra-strong frames effectively enhance the mechanical performance of the modules, their compatibility with mainstream trackers and inverters, and their adaptability to harsh environments.
-  **Lower Losses**
The multi-busbar design effectively reduces the impact of micro-cracks and broken busbars, and the half-cell structure effectively reduces the impact of shadow shading.

QUALIFICATIONS & CERTIFICATES
IEC 61215, IEC 61730, CE, IEC 62941:2019 Terrestrial photovoltaic (PV) modules—Quality system for PV module manufacturing, ISO 9001:2015 Quality management systems, ISO 14001:2015 Environmental management systems, ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems



Yingli Solar
Headquartered in Baoding, China, Yingli Energy Development Company Limited, known as Yingli Solar, is a leading solar solution provider. Yingli Solar is committed to providing clean, renewable energy through PV power generation technology for factories, homes and utilities around the world. Yingli Solar provides reliable products and services through continuous technological advancement and management innovation.

3.1. Caractéristique des panneaux en condition STC (I=1000W/m², T=25°C, AM=1.5g) :

Module type	YLxxxC-38e 1/2 (xxx=Pmax) YLxxxC-38e 1500V 1/2 (xxx=Pmax)							
Power output	P _{max}	W	405	410	415	420	425	430
Power output tolerances	ΔP _{max}	W	0 / + 5					
Module efficiency	η _m	%	20.74	21.00	21.25	21.51	21.76	22.02
Voltage at P _{max}	V _{mpp}	V	30.93	31.12	31.31	31.50	31.69	31.88
Current at P _{max}	I _{mp}	A	13.10	13.18	13.26	13.34	13.42	13.49
Open-circuit voltage	V _{oc}	V	37.53	37.72	37.91	38.10	38.29	38.48
Short-circuit current	I _{sc}	A	13.84	13.92	14.00	14.08	14.16	14.24

3.2. Caractéristique des panneaux en condition NOCT ($I=800\text{W/m}^2$, $T=20^\circ\text{C}$, $V_{\text{vent}}=1\text{m/s}$) :

Power output	P_{max}	W	307.61	311.39	315.20	319.02	322.87	326.50
Voltage at P_{max}	V_{mpp}	V	29.45	29.63	29.81	30.00	30.18	30.36
Current at P_{max}	I_{mpp}	A	10.44	10.51	10.57	10.64	10.70	10.76
Open-circuit voltage	V_{oc}	V	35.58	35.76	35.94	36.12	36.30	36.48
Short-circuit current	I_{sc}	A	11.16	11.22	11.29	11.35	11.42	11.48

3.3. Les coefficients de température et d'éclairement :

Nominal operating cell temperature	NOCT	$^\circ\text{C}$	42 ± 2
Temperature coefficient of P_{max}	γ	$\%/^\circ\text{C}$	- 0.30
Temperature coefficient of V_{oc}	β	$\%/^\circ\text{C}$	- 0.25
Temperature coefficient of I_{sc}	α	$\%/^\circ\text{C}$	0.046

3.4. Conditions du fonctionnement :

Max. system voltage	$1000 V_{\text{DC}} / 1500 V_{\text{DC}}$
Max. series fuse rating*	25 A
Operating temperature range	- 40°C to 85°C
Max. static load, front (e.g., snow)	5400 Pa
Max. static load, back (e.g., wind)	2400 Pa
Max. hailstone impact (diameter / velocity)	25 mm / $23 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

II. Fiche technique des onduleurs considérer :

1. Onduleur GOODWEE :



ANNEX A

Données techniques	GW25K-MT	GW29.9K-MT	GW30K-MT	GW36K-MT
Entrée (CC)				
Puissance d'entrée maximale (kW)	32,5	39	39	42,9
Tension d'entrée maximale (V)	1 100			
Plage de tension de fonctionnement MPPT (V)	200-950			
Plage de tension MPPT à la puissance nominale (V)	510-860			
Tension de démarrage (V)	180			
Tension d'entrée nominale (V)	600			
Courant d'entrée maximal par MPPT (A)	30 ou 25 ⁽¹⁾			
Courant de court-circuit maximal par MPPT (A)	37,5 ou 31,3 ⁽¹⁾			
Courant de retour maximal vers le groupe (A)	0			
Nombre de trackers MPP	3			
Nombre de chaînes par MPPT	2/2/2			
Sortie (CA)				
Puissance de sortie nominale (kW)	25	29,9	30	36 ⁽²⁾
Puissance apparente de sortie nominale (kVA)	25	29,9	30	36 ⁽²⁾
Puissance active CA maximale (kW)	27,5 ⁽³⁾	29,9	33 ⁽²⁾	36
Puissance apparente CA maximale (kVA)	27,5 ⁽³⁾	29,9	33 ⁽⁴⁾	36
Puissance nominale à 40 °C (kW)	25	/	30	36
Puissance maximale à 40 °C (incluant la surcharge CA) (kW)	25	/	30	36
Tension de sortie nominale (V)	400 ⁵ , 3L/N/PE ou 3L/PE			
Plage de tension de sortie (V)	320-460			
Fréquence du réseau CA nominale (Hz)	50/60			
Plage de fréquence du réseau CA (Hz)	47,5-51,5/57-61,8			

ANNEX A

Données techniques	GW25K-MT	GW29.9K-MT	GW30K-MT	GW36K-MT
Courant de sortie maximal (A)	40,0	43,3	48,0	53,3
Courant de défaut de sortie maximal (pointe et durée) (A)	160 à 2,8 μ s			
Courant de démarrage (pointe et durée) (A)	60 à 1,5 ms			
Courant de sortie nominal (A)	36,1	43,2	43,3	52,0
Facteur de puissance de sortie	-1 (réglable d'une avance de 0,8 à un retard de 0,8)			
Distorsion harmonique totale maximale	< 3 %			
Protection contre les surintensités de sortie maximales (A)	109			
Rendement				
Rendement maximal	98,7 %	98,8 %	98,8 %	98,8 %
Rendement européen	98,4 %	98,5 %	98,5 %	98,5 %
Protection				
Surveillance du courant de chaîne photovoltaïque	Intégré			
Détection de la résistance d'isolement photovoltaïque	Intégré			
Surveillance du courant résiduel	Intégré			
Protection contre la polarité inverse photovoltaïque	Intégré			
Protection contre l'îlotage	Intégré			
Protection contre les surintensités CA	Intégré			
Protection contre les courts-circuits CA	Intégré			
Protection contre les surtensions CA	Intégré			
Commutateur CC	Intégré			
Protection contre la foudre CC	Type III (Type II en option)			
Protection contre la foudre CA	Type III (Type II en option)			
AFCI	En option			
Arrêt à distance	En option			
Récupération de PID	En option			

ANNEX A

Données techniques	GW25K-MT	GW29.9K-MT	GW30K-MT	GW36K-MT
Plage de température de fonctionnement (°C)	-30~60 (60 °C pour l'extérieur sans conditionnement avec des effets solaires.)			
Humidité relative	0~100 %			
Altitude d'exploitation maximale (m)	3 000			
Mode de refroidissement	Refroidissement par ventilateur intelligent			
Interface utilisateur	LCD, LCD (en option), WLAN+APP			
Communication	RS485, WiFi ou 4G ou PLC (en option)*6			
Protocoles de communication	Modbus-RTU (compatible SunSpec)			
Poids (kg)	40			
Dimensions (l × h × p, en mm)	480 × 590 × 200			
Émission sonore (dB)	< 60			
Topologie	Non isolé			
Autoconsommation pendant la nuit (W)	< 1			
Indice de protection	IP65			
Classe de résistance à la corrosion	C5			
Connecteur CC	MC4 (4~6 mm ²)			
Connecteur CA	Borne OT/DT (25 mm ² maximum)			
Catégorie d'environnement	4K4H			
Degré de pollution	III			
Catégorie de surtension	CC II/CA III			
Classe de protection	I			
Classe de tension déterminante (DVC)	Photovoltaïque : C CA : C com : A			
Méthode active de protection contre l'îlotage	AQDPF			
Pays de fabrication	Chine			

2. Onduleur GROWATT MID 25KTL3-X:

MID 25~40KTL3-X

- Efficacité maximale de 98,8%
- Surveillance de la chaîne
- SPD de type II sur les côtés DC et AC
- Fonction AFCI prête



GROWATT

www.ginverter.com

P O W E R
- I N G O
T O M O -
R R O W O

preliminary

ANNEX A

Fiche technique	MID 25KTL3-X1	MID 30KTL3-X	MID 33KTL3-X	MID 36KTL3-X	MID 40KTL3-X
Data d'entrée (DC)					
Max. puissance PV conseillée (pour module SiC)	37500W	45000W	49500W	54000W	60000W
Max. voltage DC				1100V	
Voltage démarrage				250V	
Voltage nominal				600V	
MPPT plage voltage				200-1000V	
No. de MPP trackers	3	3	3	4	4
No de chaînes PV par MPP tracker				2	
Max. courant entrée par MPPT				26A	
Max. courant court-circuit par MPPT				32A	
Data sortie (AC)					
Puissance sortie AC	25000W	30000W	33000W	36000W	40000W
Max. AC puissance apparente	27700VA	33300VA*	36600VA	39600VA	44000VA
Voltage Ac nominal (plage*)	220V/380V, 230V/400V (340-440V)				
AC fréquence réseau (plage*)	50/60 Hz (45-55Hz/55-65 Hz)				
Max. courant sortie	40A	50.5A	55.5A	60.0A	66.6A
Facteur puissance ajustable	0.8leading...0.8lagging				
THDi	<3%				
Type connexion AC	3W+N+PE				
Efficacité					
Max. efficacité	98.8%				
Efficacité européenne	98.5%				
MPPT efficacité	99.9%				
Module de protection					
DC protection inversion polarité	Oui				
DC Interrupteur	Oui				
AC/DC protection surtension	Type II / Type II				
Surveillance résistance isolation	Oui				
AC protection court-circuit	Oui				
Surveillance faute de terre	Oui				
Surveillance réseau	Oui				
Protection anti-îlotage	Oui				
Surveillance courant résiduel	Oui				
Surveillance chaînes	Oui				
AFCI protection	Oui				
Informations générales					
Dimensions (W / H / D)	580/435/230mm				
Poids	30kg				
Température fonctionnement	- 35°C ... +60°C				
Puissance conso. nocturne	<1W				
Topologie	Sans transformateur				
Refroidissement	Refroidissement intelligent				
Degré de protection	IP66				
Humidité relative	0-100%				
Altitude	4000m				
DC connexion	H4/MC4(Optional)				
AC connexion	Cable gland+OT terminal				
Ecran	OLED+LED/WIFI+APP				
Interfaces: USB/RS485/WIFI /GPRS/LAN/RF	Oui/Oui/Option/Option/Option/Option				
Garantie: 10 ans	Oui/Option				

3. Onduleur GROWATT MAX 125KL3-X LV :

MAX 100~125KTL3-X LV

- 10 MPPTs sans fusible
- Analyse et diagnostic intelligent I/V
- Surveillance intelligente de la chaîne
- SPD AC&DC type II
- Protection IP66

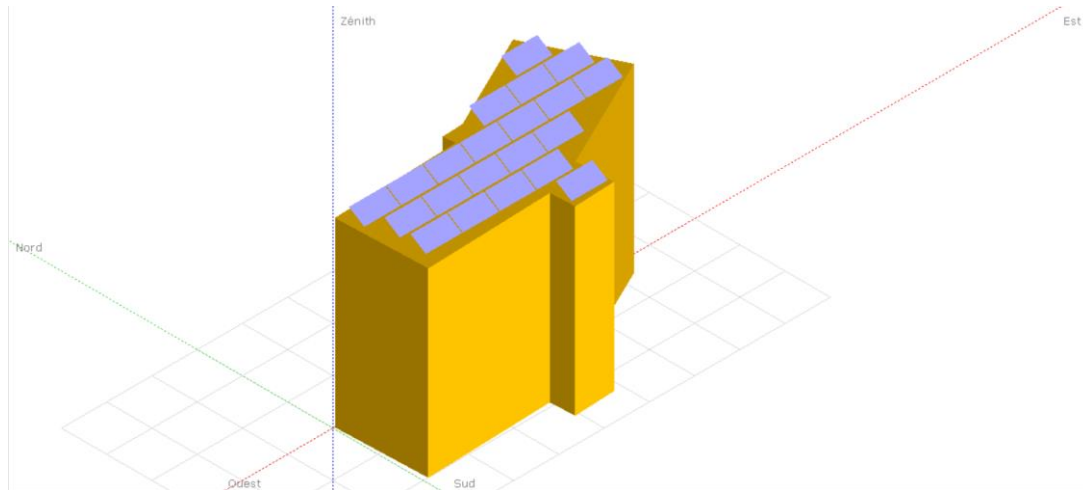
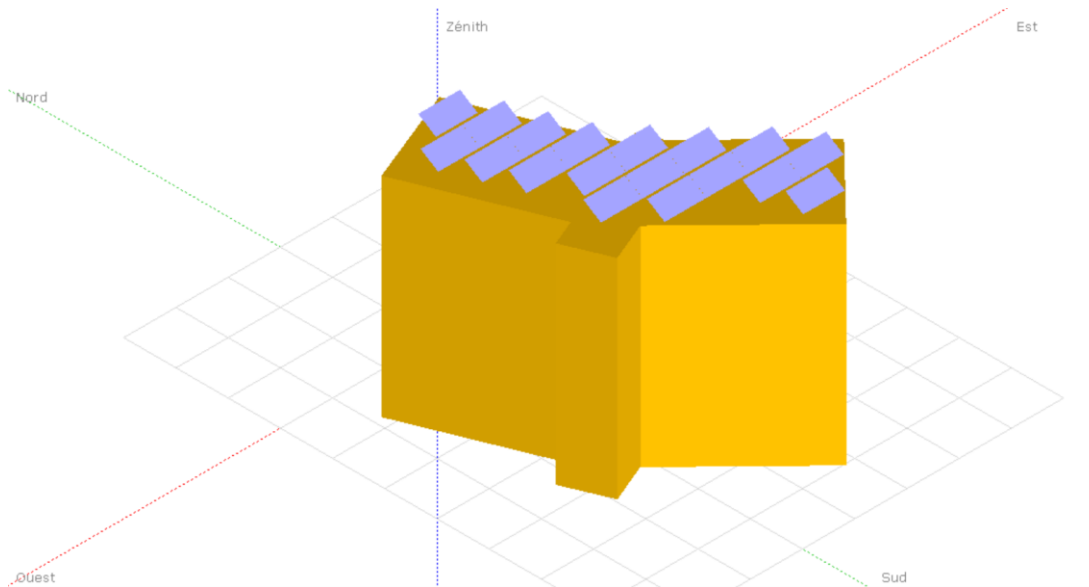
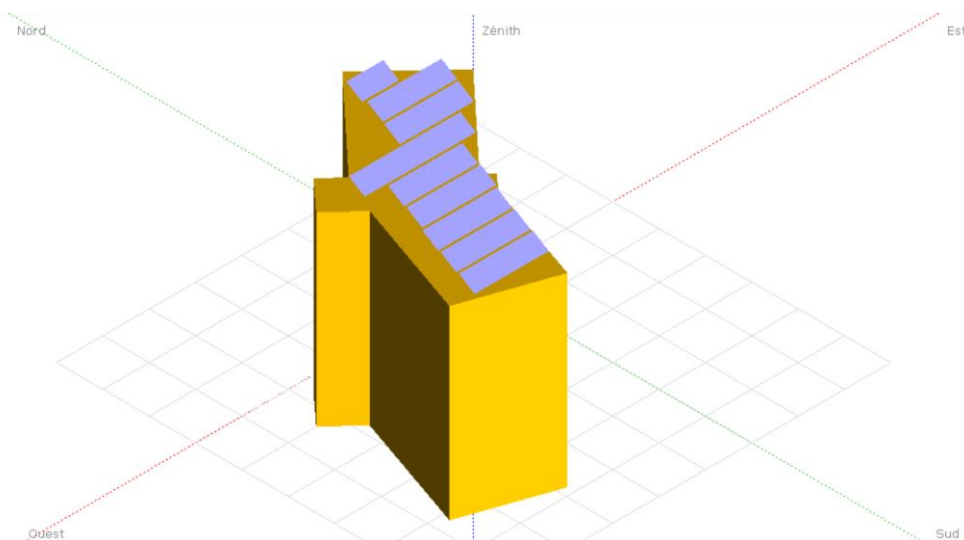
The advertisement features a white GROWATT inverter unit in the foreground. The unit has a black panel with the 'GROWATT' logo and a circular digital display showing a green waveform. The background is a blue sky with a modern glass skyscraper. The text is in white and yellow on a blue background.

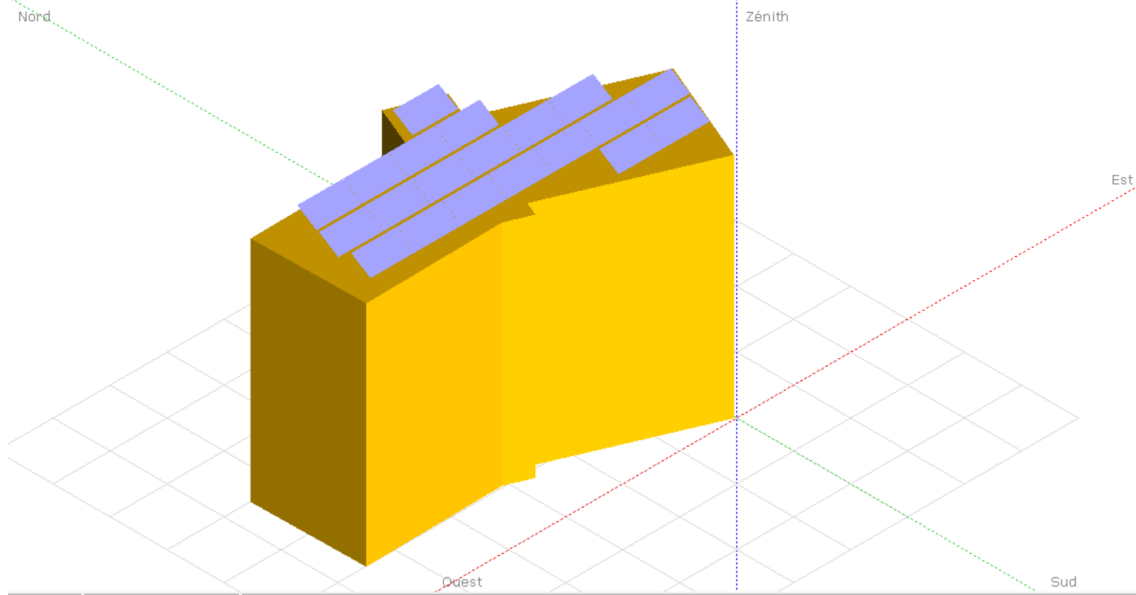
ANNEX A

Fiche technique	MAX 100KTL3-X LV	MAX 110KTL3-X LV	MAX 120KTL3-X LV	MAX 125KTL3-X LV
Data d'entrée (DC)				
Max. voltage DC	1100V			
Voltage démarrage	195V			
Voltage nominal	600V			
MPPT plage voltage	180V-1000V			
No. de MPP trackers	10			
No de chaînes PV par MPP tracker	2			
Max. courant entrée par MPPT	32A			
Max. courant court-circuit par MPPT	40A			
Data sortie (AC)				
Puissance sortie AC	10000W	11000W	12000W	12500W
Max. AC puissance apparente	11000VA	12100VA	13200VA	13750VA
Voltage Ac nominal (plage*)	220V/380V, 230V/400V (340-440V)			
AC fréquence réseau (plage*)	50/60 Hz(45–55Hz/55-65 Hz)			
Max. courant sortie	158.8A@400V 167.1A@380V	174.6A@400V 183.8A@380V	190.5A@400V 200.5A@380V	198.5A@400V 208.9A@380V
Facteur puissance ajustable	0.8leading ...0.8lagging			
THDi	< 3%			
Type connexion AC	3W/N/PE			
Efficacité				
Max. efficacité	98.8%			
Efficacité européenne	98.4%	98.5%	98.5%	98.5%
MPPT efficacité	99.9%			
Module de protection				
DC protection inversion polarité	Oui			
Interrupteur DC	Oui			
AC/DC protection surtension	Type II / Type II			
Surveillance résistance isolation	Oui			
AC protection court-circuit	Oui			
Surveillance faute de terre	Oui			
Surveillance des chaînes	Oui			
Anti PID fonction	Oui			
Détection des arcs elec. (AFCI)	Oui			
Informations générales				
Dimensions (W / H / D)	970/640/345mm			
Poids	84kg			
Température fonctionnement	-30°C ... +60°C			
Puissance conso. nocturne	< 1W			
Topologie	Sans transformateur			
Refroidissement	Refroidissement intelligent			
Degré de protection	IP66			
Humidité relative	0–100%			
Altitude	4000m			
DC connexion	H4/MC4 (Max.6mm ²)			
AC connexion	OT Terminal (Max. 240mm ²)			
Ecran	LED/WIFI+APP			
Interfaces: USB/RS485/WIFI /GPRS/LAN/RF	Oui/Oui/option/option/option/option			
Garantie: 5ans / 10 ans	Oui/option			

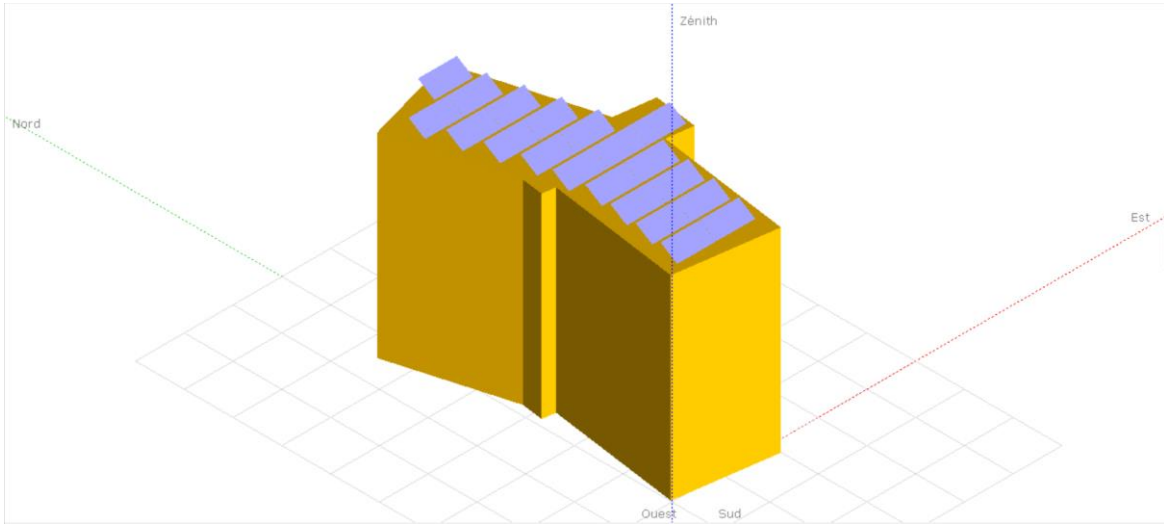
Résultats PVsyst :

1. Simulation de positions des panneaux sur les toitures :

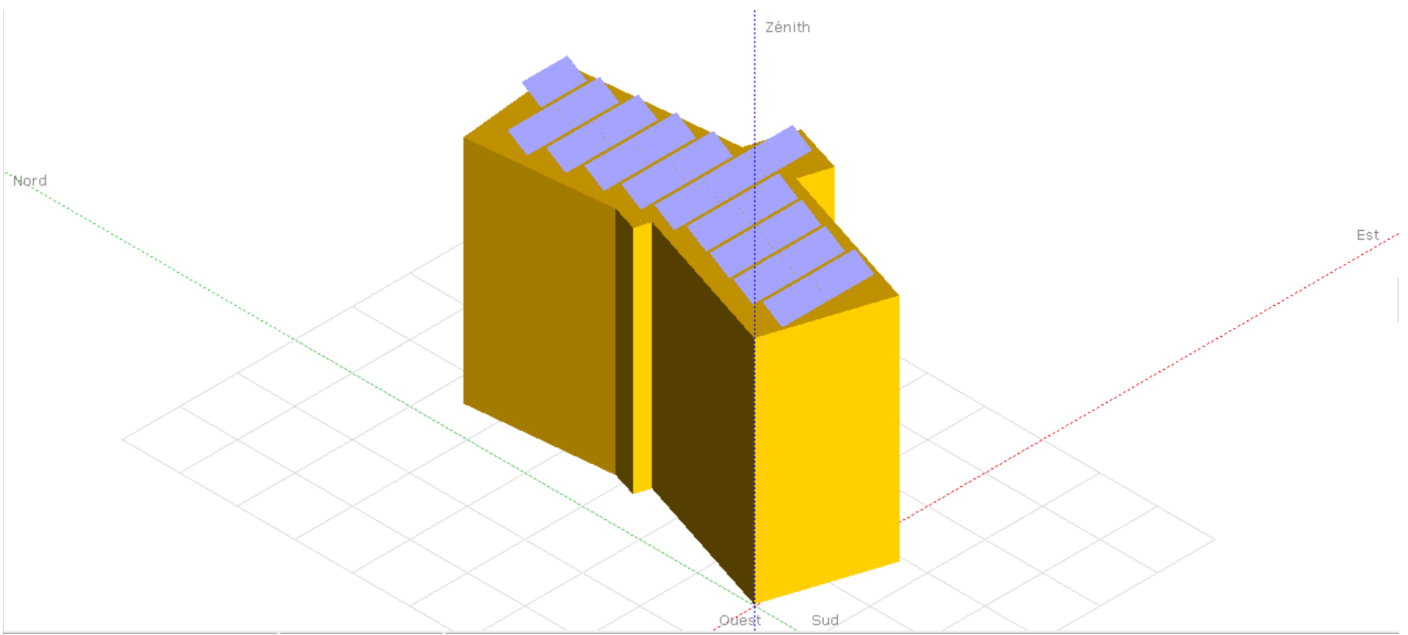
**Bloc A****Bloc B****Bloc C**



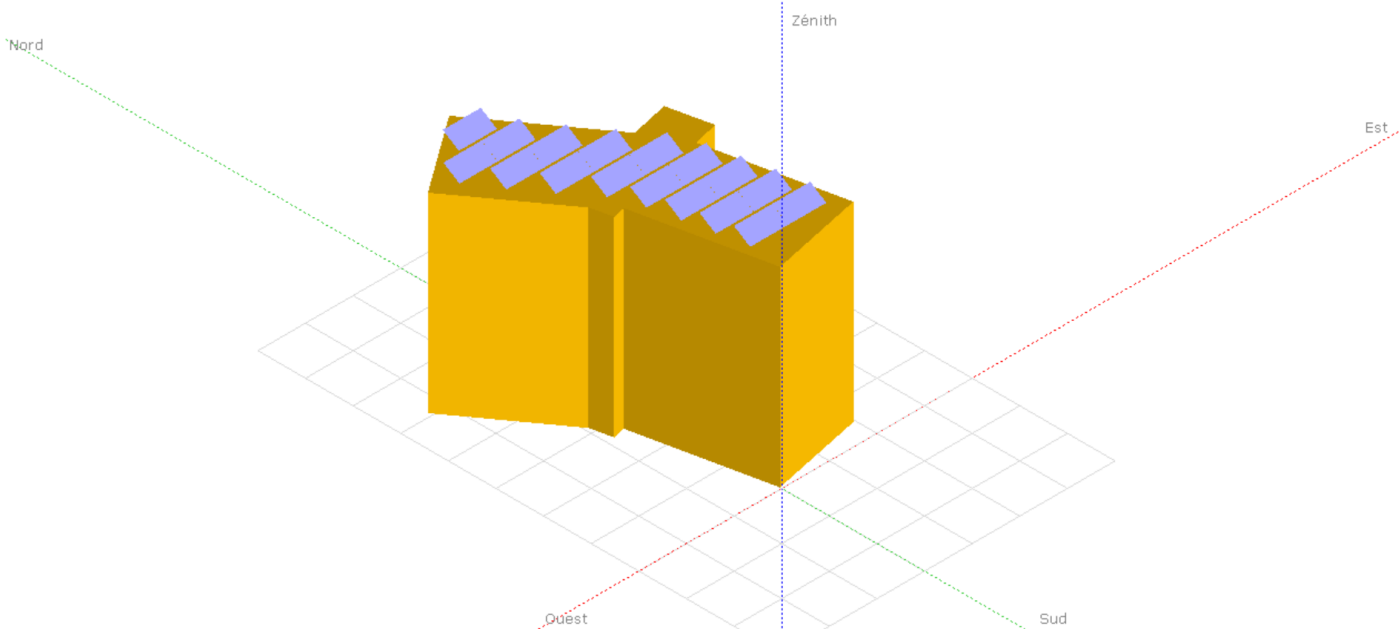
Bloc D



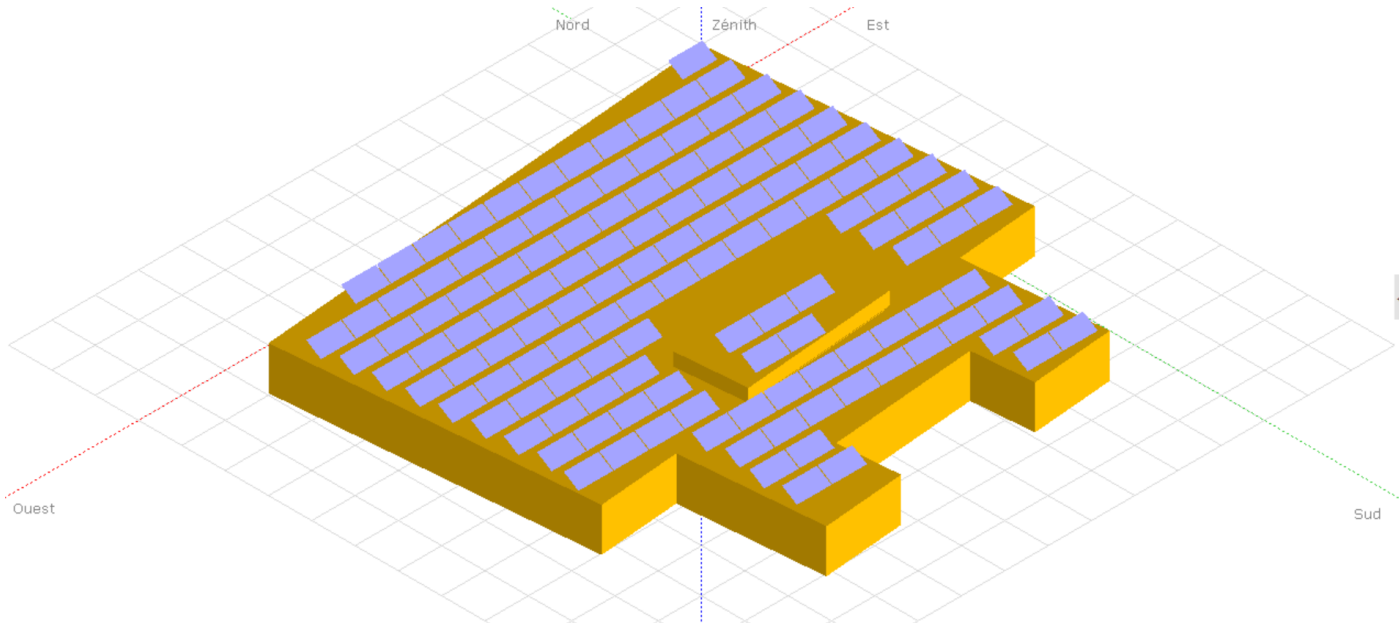
Bloc E



Bloc F



Bloc G



Restaurant

2. Rapport :

PVSYST V6.81		15/06/23	Page 1/4											
Système couplé au réseau: Paramètres de simulation														
Projet :		Nouveau Projet												
Site géographique	Blida	Pays	Algérie											
Situation	Latitude 36.48° N	Longitude	2.80° E											
Temps défini comme	Temps légal Fus. horaire TU	Altitude	260 m											
Données météo:	Blida	pvgis (2005-2016) (Modified by user) - Synthétique												
Variante de simulation : cité 6														
Date de la simulation		13/06/23 à 17h31												
Paramètres de simulation	Type de système	Pas de scène 3D, pas d'ombrages												
Orientation plan capteurs	Inclinaison	32°	Azimut 0°											
Modèles utilisés	Transposition	Perez	Diffus Perez, Meteororm											
Horizon	Pas d'horizon													
Ombrages proches	Sans ombrages													
Besoins de l'utilisateur :	valeurs mensuelles													
	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Jui.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Année	
	1.33	1.33	1.33	0.82	0.82	0.82	0.01	0.01	0.01	0.82	0.82	1.33	0.78	MWh/jour
Caractéristiques du champ de capteurs														
Module PV	Si-poly	Modèle	GCL-P3/72-340											
Base de données PVsyst originale		Fabricant	GCL											
SolarEdge Power Optimizer		Modèle	P850 Worldwide											
PV modules par optimiseur		en série	2											
Nbre d'optimiseurs		En série	20											
Nombre total de modules PV		Nbre modules	960											
Puissance globale du champ		Nominale (STC)	326 kWc											
Output of optimizers		U oper	750 V											
Surface totale		Surface modules	1930 m²											
			Puissance unitaire 850 W											
			en parallèle 1											
			En parallèle 24 chaînes											
			Puissance unitaire 340 Wc											
			Aux cond. de fonct. 295 kWc (50°C)											
			I at Poper 394 A											
			Surface cellule 1742 m ²											
Onduleur		Modèle	SE50K/SE75K Unit											
Base de données PVsyst originale		Fabricant	SolarEdge											
Caractéristiques		Tension de fonctionnement	750 V											
			Puissance unitaire 25.0 kWac											
Batterie d'onduleurs		Nbre d'onduleurs	12 unités											
			Puissance totale 300 kWac											
			Rapport Pnom 1.05											
Facteurs de perte du champ PV														
Fact. de pertes thermiques	Uc (const)	20.0 W/m ² K	Uv (vent) 0.0 W/m ² K / m/s											
Perte ohmique de câblage	Rés. globale champ	26 mOhm	Frac. pertes 1.5 % aux STC											
Perte de qualité module			Frac. pertes -0.8 %											
Perte de "mismatch" modules			Frac. pertes 0.0 % (tension fixée)											
Effet d'incidence (IAM): Profil personnalisé														
	0°	30°	45°	60°	70°	75°	80°	85°	90°					
	1.000	1.000	0.996	0.969	0.904	0.828	0.684	0.445	0.000					

Système couplé au réseau: Résultats principaux

Projet : Nouveau Projet

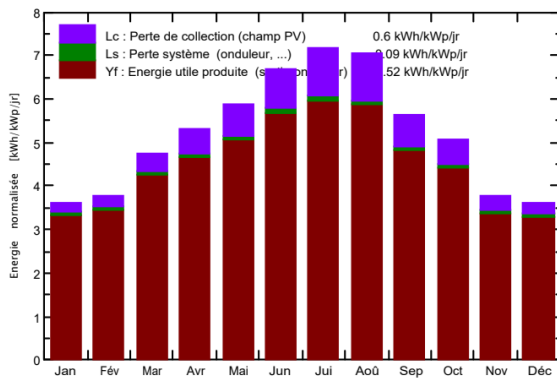
Variante de simulation : cité 6

Principaux paramètres système	Type de système	Pas de scène 3D, pas d'ombrages	
Orientation plan capteurs	inclinaison	32°	azimut 0°
Modules PV	Modèle	GCL-P3/72-340	Pnom total 340 Wc
Champ PV	Nombre de modules	960	Pnom total 326 kWc
Onduleur	Modèle	SE50K/SE75K Unit	Pnom 25.00 kW ac
Batterie d'onduleurs	Nombre d'unités	12.0	Pnom total 300 kW ac
Besoins de l'utilisateur	valeurs mensuelles		Global 286 MWh/an

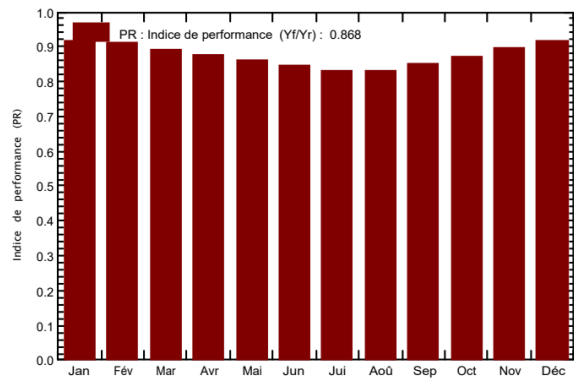
Principaux résultats de la simulation

Production du système	Energie produite	538.8 MWh/an	Productible	1651 kWh/kWc/an
	Indice de performance (PR)	86.79 %	Fraction solaire (SF)	38.58 %

Productions normalisées (par kWp installé): Puissance nominale 326 kWc



Indice de performance (PR)



cité 6

Bilans et résultats principaux

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_User	E_Solar	E_Grid	EFrGrid
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Janvier	73.9	34.56	8.86	112.6	110.9	34.39	41.14	13.25	20.45	27.89
Février	77.8	36.26	8.95	106.1	104.4	32.23	37.24	12.74	18.82	24.50
Mars	124.9	57.74	11.44	147.7	144.9	43.90	41.23	16.13	26.88	25.10
Avril	152.7	68.95	14.53	159.7	156.0	46.65	24.69	11.23	34.47	13.46
Mai	190.4	78.99	17.85	181.7	177.3	52.24	25.42	12.45	38.74	12.97
Juin	217.6	80.15	22.04	200.8	195.9	56.70	24.60	12.66	42.91	11.94
Juillet	235.7	73.81	25.88	222.9	217.9	61.66	0.22	0.13	60.31	0.09
Août	210.3	69.15	25.59	218.5	214.1	60.49	0.22	0.12	59.18	0.10
Septembre	148.6	62.95	22.04	169.5	166.1	48.15	0.21	0.10	47.09	0.11
Octobre	118.8	47.68	18.57	157.8	155.1	45.66	25.42	10.47	34.28	14.95
Novembre	74.9	29.80	13.04	113.0	111.4	33.69	24.60	8.22	24.77	16.38
Décembre	68.3	28.53	9.78	111.6	110.0	34.04	41.23	12.90	20.45	28.33
Année	1693.9	668.57	16.59	1901.9	1864.2	549.79	286.21	110.41	428.35	175.80

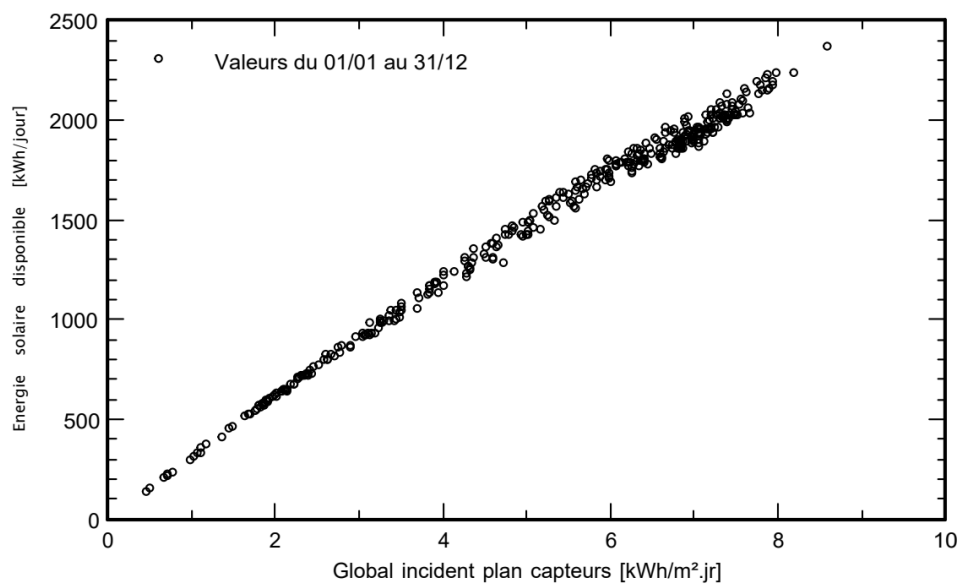
Légendes: GlobHor	Irradiation globale horizontale	GlobEff	Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages
DiffHor	Irradiation diffuse horizontale	EArray	Energie effective sortie champ
T_Amb	Température ambiante	E_User	Energie fournie à l'utilisateur
GlobInc	Global incident plan capteurs	E_Solar	Energie du soleil
		E_Grid	Energie injectée dans le réseau
		EFrGrid	Energie du réseau

Système couplé au réseau: Graphiques spéciaux

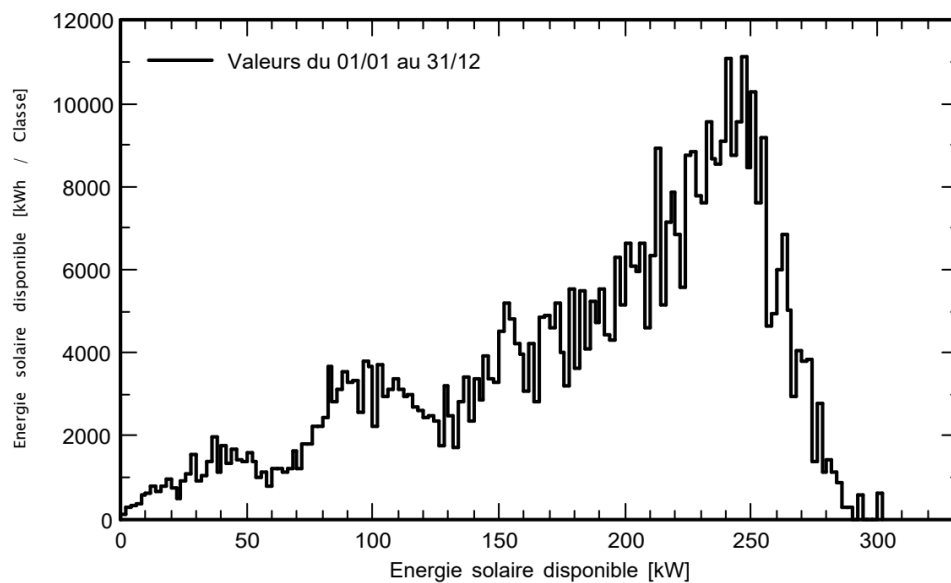
Projet : **Nouveau Projet**Variante de simulation : **cité 6**

Principaux paramètres système	Type de système	Pas de scène 3D, pas d'ombrages	
Orientation plan capteurs	inclinaison	32°	azimut 0°
Modules PV	Modèle	GCL-P3/72-340	Pnom 340 Wc
Champ PV	Nombre de modules	960	Pnom total 326 kWc
Onduleur	Modèle	SE50K/SE75K Unit	Pnom 25.00 kW ac
Batterie d'onduleurs	Nombre d'unités	12.0	Pnom total 300 kW ac
Besoins de l'utilisateur	valeurs mensuelles		Global 286 MWh/an

Diagramme d'entrée/sortie journalier



Distribution de la puissance de sortie système



Système couplé au réseau: Diagramme des pertes

Projet : Nouveau Projet

Variante de simulation : cité 6

Principaux paramètres système	Type de système	Pas de scène 3D, pas d'ombrages	
Orientation plan capteurs	inclinaison	32°	azimut 0°
Modules PV	Modèle	GCL-P3/72-340	Pnom 340 Wc
Champ PV	Nombre de modules	960	Pnom total 326 kWc
Onduleur	Modèle	SE50K/SE75K Unit	Pnom 25.00 kW ac
Batterie d'onduleurs	Nombre d'unités	12.0	Pnom total 300 kW ac
Besoins de l'utilisateur	valeurs mensuelles		Global 286 MWh/an

Diagramme des pertes sur l'année entière

