

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de Technologie Département
Génie mécanique



Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme de Master en : Science et Technologie
Filière : Génie Mécanique
Spécialité : Energétique
Thème

**Optimisation d'un système solaire photovoltaïque pour la
Médiathèque de l'université de Ain-Temouchent à l'aide de
PVSYST**

Présenté Par :

- 1) Melle Benmedjahed Hayet
- 2) Melle Kribi Souad

Devant le jury composé de :

Mr. Guendouz Bouhelal	M A A UAT.B.B (Ain Temouchent) Président
Pr. Bensaad Bourassia	P R UAT.B.B (Ain Temouchent) Examineur
Dr. Berrezoug Hiba Imane	M C A UAT.B.B (Ain Temouchent) Encadrant
Dr. Belhamiani Mohammed	M C A UAT.B.B (Ain Temouchent) Co-Encadrante

Année Universitaire 2024/2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Nous remercions le DIEU le tout puissant de nous avoir donné la force et le courage afin d'accomplir ce modeste travail.

Nos remerciements vont à notre promotrice Meme Berrezoug Hiba Imane pour nous avoir orientée et donnée de précieux conseils. Nous le prions de bien vouloir agréer le témoignage de notre plus vive reconnaissance et sa disponibilité.

J'exprime ma profonde gratitude à Monsieur Belhamiani MOHAMMED, professeur à UBBT, d'avoir orientée, pour son encadrement efficace, son soutien.

Nous remercions chaleureusement les membres du jury Meme Bensaad Bourassia et Mr Guendouz Bouhelal pour leur regard critique et plus que pertinent sur l'ensemble de notre travail.

Nous apportons aussi nos vifs remerciements aux personnels enseignants de l'Université Belhadj –Bouchaib Ain Temouchent.

A toute la promotion de 2024-2025

Didicas 1

Je dédie ce modeste travail :
à ma mère et mon père pour tous les sacrifices qu'ils ont faits
pour moi, pour leur

Soutien continu durant mon travail, que Dieu les protège ;

À mes Grandes parents : BOUKADA

A mon frère : Mohammed

Et à toute ma famille en général.

Et enfin

À mon binôme Hayet avec qui j'ai partagé ce travail.

KRIBI souad

Didicas 2

Je dédie :

A ma très chère mère, qui n'a jamais cessé de
prier pour moi.

A mon très cher père, pour ses
encouragements. A mes très chers frères.

A toute ma grande famille :

Benmedjahed A mes
meilleurs amis chacun à son
nom.

A la fin mon binôme Souad avec qui j'ai
partagé ce travail

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou
de loin pour la réalisation de ce
travail.

Benmedjahed Hayet

Résumé :

Ce mémoire porte sur le dimensionnement d'un système photovoltaïque destiné à alimenter la médiathèque de l'Université de Aïn Témouchent. Dans un premier temps, une revue générale des énergies renouvelables est présentée, avec un accent particulier sur l'énergie photovoltaïque et le principe de fonctionnement des cellules solaires. L'étude se poursuit par une description détaillée des différents composants d'un système photovoltaïque, notamment les panneaux solaires, les batteries et les onduleurs.

Afin d'évaluer les performances du système, des simulations ont été réalisées à l'aide du logiciel PVSYST. Ces simulations ont permis d'obtenir des courbes de production, d'analyser le rendement spécifique annuel ainsi que l'efficacité globale du système. L'étude prend également en compte les paramètres météorologiques du site d'installation, tels que l'ensoleillement et la température ambiante, qui influencent directement la performance de l'installation.

Enfin, une estimation économique du projet a été effectuée afin d'évaluer sa faisabilité et sa rentabilité. Cette étude vise ainsi à démontrer l'intérêt technique et économique de l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque dans le secteur universitaire.

Mots clés : installation photovoltaïque (PV), la médiathèque de l'Université de Aïn Témouchent, cellule photovoltaïque, logiciel PVSYST, estimation économique.

Abstract:

This thesis focuses on the design and sizing of a photovoltaic system intended to supply electricity to the media library of the University of Aïn Témouchent. The study begins with a general overview of renewable energy sources, with a particular emphasis on photovoltaic (PV) energy and the operating principle of solar cells. A detailed description of the various components of a PV system—such as solar panels, batteries, and inverters—is then provided.

To assess the system's performance, simulations were carried out using the PVSYST software. These simulations allowed us to generate production curves and analyze key indicators such as the annual specific yield and overall system efficiency. The study also considers meteorological conditions at the installation site, including solar irradiance and ambient temperature, which directly affect the system's performance.

Finally, an economic assessment of the project was conducted to evaluate its feasibility and profitability. This work thus aims to demonstrate the technical and economic viability of using photovoltaic solar energy in the university sector.

Keywords: photovoltaic installation(PV) , the media library of the University of Aïn Témouchent , photovoltaic cell , the software PV system , economic estimate.

الملخص

يتناول هذا البحث دراسة وتصميم نظام كهروضوئي لتزويد مكتبة جامعة عين تموشنت بالطاقة الكهربائية. يبدأ العمل بعرض عام حول مصادر الطاقة المتجددة، مع التركيز على الطاقة الشمسية الكهروضوئية ومبدأ عمل الخلية الشمسية. كما يتناول البحث شرحاً مفصلاً لمكونات النظام الكهروضوئي، مثل الألواح الشمسية، والبطاريات، والمحولات. ولتحليل أداء النظام، تم إجراء محاكاة باستخدام برنامج *PVSYS*، حيث تم استخراج المنحنيات الإنتاجية وتحليل مؤشرات الأداء مثل الإنتاجية السنوية المحددة وكفاءة النظام الكلية. كما يأخذ البحث في الاعتبار الظروف المناخية لموقع التركيب، بما في ذلك الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة، لما لهما من تأثير مباشر على أداء المنظومة. وفي الختام، تم تقديم دراسة اقتصادية للمشروع لتقييم جدواه وربحيته. يهدف هذا العمل إلى إبراز أهمية وجدوى استخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية في القطاع الجامعي من الناحيتين التقنية والاقتصادية. **الكلمات المفتاحية:** محاكاة التركيب الكهروضوئي، الخلية الكهروضوئية، مكتبة جامعة عين تموشنت، برنامج

.PVSYS

Sommaire

Dédicace	
Liste de matière	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Symboles et abréviations	

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I : Revue littérature

I.1 Introduction	4
I.2 L'énergie renouvelable	4
I.2.1 Définition.....	4
I.2.2 Les différentes formes d'énergies renouvelables.....	5
I.2.2.1 L'énergie hydraulique.....	5
I.2.2.3 L'énergie géothermique	7
I.2.2.4 Biomasse	8
I.2.2.5 L'énergie solaire	10
I.3 Energie solaire.....	11
I.3.1 Le soleil.....	11
I.3.2 Caractéristique du soleil	12
I.3.3 Rayonnement solaire.....	12
I.3.4 Les coordonnées terrestres.....	15
I.3.5 Les Coordonnées équatoriales	16
I.3.6 Les coordonnées horizontales	17
I.3.7 Inclinaison de soleil.....	18
I.3.8 Masse d'air	19
I.3.9 La constante solaire.....	19
I.3.10 Irradiation solaire	20
I.3.11 Durée d'insolation (Insolation)	21
I.4 Exploitation de l'énergie solaire.....	21
I.4.1 L'énergie photovoltaïque.....	21

I.4.2 L'énergie solaire thermique	22
I.4.3 L'énergie solaire thermodynamique CSP (Concentrated Solar Power)	23
I.5 L'importance de rayonnement solaire pour le système PV	24
I.6. Conclusion	24

Chapitre II : système photovoltaïque

II.1 Introduction.....	26
II.2 Historique de l'énergie photovoltaïque.....	26
II.3. La conversion photovoltaïque	27
II.3.1 L'absorption de la lumière	27
II.3.2 L'effet photovoltaïque	29
II.3.3 La cellule photovoltaïque	29
II.3.3.a La Structure d'une cellule photovoltaïque	30
II.3.3.b Le principe de fonctionnement.....	31
II.3.3.c La jonction p-n.....	32
II.4 Caractéristique d'une cellule photovoltaïque	34
II.4.1 Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque	36
II.4.2 Matériau de construction des cellules	37
II.5 Types de cellule photovoltaïque.....	37
II.6 Module photovoltaïque	40
II.7 Effet d'éclairement et de température sur les panneaux photovoltaïques.....	41
II.7.1 Effet d'éclairement	42
II.7.2 Effet de température.....	43
II.8 Raccordement d'un système photovoltaïque.....	45
II.8.1 Système photovoltaïque autonome	45
II.8.2 Système photovoltaïque raccordé au réseau.....	47
II.8.3 Système photovoltaïque hybride	49
II.8.4 Système photovoltaïque de pompage d'eau.....	50
II.9 Les éléments de système photovoltaïque	52
II.9.1 Le Générateur photovoltaïque	53
II.9.2 La batterie.....	53
II.9.2.1 Les types de batterie	54
II.9.2.2 Le principe de fonctionnement.....	54
II.9.3 Le régulateur de charge.....	55
II.9.3.1 Différents types de régulateur.....	55

II.9.3.2	Fonctionnement.....	56
II.9.4	L'onduleur.....	56
II.9.4.1	Les types d'onduleurs DC/AC.....	56
II.9.4.2	Le Principe de fonctionnement.....	56
II.9.5	Les câbles.....	57
II.9.5.1	Rôle des câbles dans le système.....	57
II.10	Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque.....	58
II.10.1	Les avantages de l'énergie photovoltaïque.....	58
II.10.2	Les inconvénients de l'énergie photovoltaïque.....	58
II.11	Conclusion.....	59

Chapitre III : Dimensionnement d'une installation PV (autonome, réseau)

III.1	Introduction.....	89
III.2	Orientation du module.....	89
III.2.1	Choix de repères.....	89
III.2.3	Trajectoire du soleil.....	90
III.2.4	Cordonnée du soleil.....	90
III.2.5	Orientation du capteur.....	91
III.2.6	Angle d'incidence.....	93
III.2.7	Irradiance diffuses.....	93
III.2.8	Irradiance directe.....	94
III.2.9	Irradiance globale.....	94
III.2.10	Ombrage.....	95
III.2.10.1	Définition de l'ombrage.....	95
III.2.10.2	Influence de l'ombrage sur les performances du module.....	95
III.2.11	L'inclinaison optimale du capteur photovoltaïque.....	96
III.2.12	Angle d'inclinaison optimale du module PV.....	97
III.2.13	Orientation optimale fixe.....	98
III.2.14	Sensibilité de l'orientation sur l'énergie produite.....	98
III.3	Energie de consommation.....	98
III.3.1	Les besoins énergétiques des applications.....	99
III.4	Dimensionnement du Générateur Photovoltaïque.....	100
III.4.1	Puissance crête.....	100
III.4.2	Tension de fonctionnement du champ photovoltaïque.....	100

III.4.3	Nombre des panneaux photovoltaïques	100
III.4.3.1	Nombre des panneaux photovoltaïques en séries	101
III.4.3.2	Nombre des panneaux photovoltaïques en parallèles	101
III.4.4	Calcul de la taille de la surface photovoltaïque.....	101
III.5	Dimensionnement de batterie	102
III.5.1	Calcule la capacité de stockage de la batterie	102
III.5.2	Calcule de nombre des batteries.....	102
III.5.3	Nombre des batteries en séries.....	103
III.5.4	Nombre des batteries en parallèles	103
III.6	Dimensionnement de l'onduleur.....	103
III.7	Dimensionnement du régulateur de charge	104
III.8	Dimensionnement des Câbles électriques solaires.....	104
III.9	Maintenance de l'installation de système photovoltaïque	105
III.10	Présentation de logiciel de simulation PVSYST.....	106
III.11	Conception du Système	106
III.11.1	Estimation de la charge électrique.....	107
III.11.2	Estimation du nombre des panneaux photovoltaïques	107
III.11.3	Estimation du parc des batteries	107
III.11.4	Estimation des coûts du système	108
III.12	Définir du projet.....	108
III.12.1	Données localisation du site	108
III.12.2	Données météorologiques du site.....	109
III.12.3	Coordonnées Géographiques.....	109
III.12.4	Trajectoire du soleil.....	110
III.13	Orientation PV	111
III.14	Définition des besoins de l'utilisateur.....	111
III.15	Définir du Système.....	112
III.15.1	Stockage.....	112
III.15.2	Champ PV	113
III.16	Simulation.....	114
III.17	L'évaluation économique du système PV	115
III.18	Conclusion	117

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1 Introduction.....	118
IV.2 Présentation de la médiathèque d’Ain Témouchent.....	118
IV.3 Situation géographique d’Universitaire de Ain-Temouchent (PVSYST).....	119
IV.3.1 Données Météorologique d Universitaire d’Ain-Temouchent (PVSYST)	120
IV.3.2 Trajectoire du soleil a Ain TEMOUCHENT (PVSYST).....	121
IV.4 Dimensionnement de système photovoltaïque PVSYST	122
IV.4.1 Système Couplée au Réseau.....	122
VI.4.1.1 Cahier des Charges de la Médiathèque	122
IV.4.1.2 Orientation de système	125
IV.4.1.3 Simulation sur PVSYST	126
VI.4.1.4 Simulation Sans Ombrage.....	127
VI.4.1.5 Simulation Avec ombrage.....	130
IV.4.2 Système Autonome	135
IV.4.2.1 Définition de fonctionnent de la Médiathèque pour une durée 24h	135
IV.4.2.2 Simulation sur PVSYST.....	136
IV.4.2.3 Rapport détaillé de simulation (avec ombrage).....	138
IV.5 Dimensionnement de système photovoltaïque Théoriquement	142
IV.5.1 Système Connecté au réseau.....	142
IV.5.2 Système Autonome	142
IV.6 Étude Technico-économique du Système (Connecté au réseau et Autonome)	143
IV.7 Conclusion.....	145
Conclusion générale	147
Bibliographie	150
Résumé	

Liste des figures :

FIGURES CHAPITE I

Figure I.1 : Les énergies renouvelables.....	5
Figure I.2 : Energie hydraulique.....	6
Figure I.3 : Ferme des éoliennes.....	7
Figure I.4 : Énergie géothermique.....	8
Figure I.5 : Principe de la biomasse.....	9
Figure I.6 : Énergie solaire.....	10
Figure I.7 : Le soleil.....	11
Figure I.8 : Rayonnement solaire transmise à la terre.....	13
Figure I.9 : Le spectre du rayonnement solaire.....	13
Figure I.10 : Les coordonnées terrestres.....	16
Figure I.11 : La courbe de déclinaison du soleil.....	16
Figure I.12 : Les coordonnées horaires.....	17
Figure I.13 : Les coordonnées horizontales.....	18
Figure I.14 : Orientation et inclinaison d'une surface.....	18
Figure I.15 : Masse d'aire.....	19
Figure I.16 : Irradiation globale journalière reçue sur plan horizontal aux mois de Juillet et Décembre.....	20
Figure I.17 : Champ photovoltaïque.....	22
Figure I.18 : Énergie solaire thermique.....	23
Figure I.19 : Les différents modes d'exploitation de l'énergie solaire.....	24

FIGURES CHAPITRE II

Figure II.1 : Réflexion, transmission et absorption.....	27
Figure II.2 : La jonction P-N dans une cellule photovoltaïque.....	29
Figure II.3 : Une cellule Photovoltaïque.....	30
Figure II.4 : La structure d'une cellule Photovoltaïque.....	31
Figure II.5 : Le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	32
Figure II.6 : Schéma de principe de la conversion photoélectrique.....	32
Figure II.7 : Dopage de type N.....	33
Figure II.8 : Dopage de type P.....	34
Figure II.9 : Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque.....	36
Figure II.10 : Cellule en silicium monocristallin.....	38
Figure II.11 : Cellule en silicium monocristallin.....	39
Figure II.12 : Cellule en silicium amorphe.....	39
Figure II.13 : Vue en coupe d'un module PV.....	40

Figure II.14 : (a) Schéma d'un module formé d'un groupement des cellules en série	41
Figure II.15 : (a) Schéma d'un module formé d'un groupement des cellules en parallèle	42
Figure II.16 : Schéma d'un module formé d'un groupement des cellules en série/parallèle.....	42
Figure II.17 : La caractéristique $I=f(v)$ en fonction de l'éclairement	43
Figure II.18 : La caractéristique $P=f(v)$ en fonction de l'éclairement	43
Figure II.19 : La caractéristique de $I=f(V)$ en fonction de température.....	44
Figure II.20 : La caractéristique de $P= f(V)$ en fonction de température	44
Figure II.21 : Système photovoltaïque autonome.....	46
Figure II.22 : Système photovoltaïque raccordé au réseau	47
Figure II.23 : Système photovoltaïque hybride	49
Figure II.24 : Système photovoltaïque pompage.....	51
Figure II.25 : Eléments d'un système solaire photovoltaïque	52
Figure II.26 : Champ photovoltaïque.....	53
Figure II.27 : La batterie	53
Figure II.28 : Régulateur série.....	55
Figure II.29 : Schéma de position de régulateur Schéma de position de régulateur.....	56
Figure II.30 : Exemple de câblage.....	57

FIGURES CHAPITRE III :

Figure III.1 : Position de la terre par rapport au soleil en différent mois de l'année	90
Figure III.2 : Orientation du capteur.....	91
Figure III.3 : Convention pour l'orientation d'un panneau PV	92
Figure III.4 : Exemple de Diagramme solaire à Sherbrooke.....	92
Figure III.5 : Angle d'incidence	93
Figure III.6 : Influence de l'ombrage sur les performances du module.....	95
Figure III.7 : Définition des angles pour un plan incliné : inclinaison β , azimut χ et l'angle ..	96
Figure III.8 : Les inclinaisons possibles des panneaux PV.	97
Figure III.9 : Présentation de logiciel PVSYST	106
Figure III.10 : Exemple d'Emplacement géographique de la wilaya de Tiaret	108
Figure III.11 : Exemple caractéristique climatique.....	109
Figure III.12 : Coordonnées géographiques du site de Tiaret	110
Figure III.13 : Exemple Trajectoire du soleil.....	110
Figure III.14 : Positionnement des systèmes de panneaux PV.....	111
Figure III.15 : Définition de la consommation des récepteurs	111
Figure III.16 : Graphique de la consommation journalière	112
Figure III.17 : Dimensionnement de la batterie.....	113
Figure III.18 : Choix des Caractéristiques du module PV et régulateur	113
Figure III.19 : Lancement de simulation.	114
Figure III.20 : Rapport de simulation	115
Figure III.21 : Exemple Évaluation économique du système PV.....	117

FIGURES CHAPITRE IV :

Figure IV.1 : la médiathèque de Ain Témouchent.....	119
Figure IV.2 : Situation géographique de L'Université de Aïn Témouchent (PV-SYST) médiathèque au sein de notre université UBBAT	12
0	
Figure IV.3 : Météorologique d'Ain Temouchent.....	120
Figure IV.4 : Trajectoire du soleil a Ain TEMOUCHENT (PVSYST).....	121
Figure IV.5 : Boîte de dialogue d'orientation.....	126
Figure IV.6 : Pré dimensionnement PVSYST.....	127
Figure IV.7 : Performance ratio PR sans ombrage.	128
Figure IV.8 : Diagramme de pertes connecté aux réseaux sans ombrage.....	129
Figure IV.9 : La scène d'ombrage 3D.....	130
Figure IV.10 : Perte d'ombrage.....	131
Figure IV.11 : Performance ratio PR avec ombrage.....	132
Figure IV.12 : Diagramme de perte.....	134
Figure IV.13 : Graphe de la consommation journalière.....	136
Figure IV.14 : Pré dimensionnement PVSYST.....	137
Figure IV.15 : Pré dimensionnement PVSYST.....	137
Figure IV.16 : La scène d'ombrage 3D.....	138
Figure IV.17 : Perte d'ombrage.....	139
Figure IV.18 : Performance ratio PR.....	140
Figure IV.19 : Diagramme de pertes.....	141

Liste des tableaux :

Tableau I.1 : Caractéristique du soleil	12
Tableau II.1 : Une comparaison des avantages et des inconvénients de chaque type de batterie. 54	
Tableau III.1 : Relation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux pour une Utilisation annuelle.	97
Tableau III.2 : Tension du champ en fonction de sa puissance crête.	100
Tableau IV.1 : Consommation énergétique en salle des étudiants.	122
Tableau IV.2 : Consommation énergétique en salle d'informatique et le haule.....	122
Tableau IV.3 : Consommation énergétique en salle d'imprimerie.	123
Tableau IV.4 : Consommation énergétique bibliothèque de recherche	123
Tableau IV.5 : Consommation énergétique des bureaux	124
Tableau IV.6 : Consommation énergétique en salle des professeurs.....	124
Tableau IV.7 : Consommation énergétique en salle d'archive.....	124
Tableau IV.8 : Consommation énergétique en Salle des étudiants.....	125
Tableau IV.9 : Consommation énergétique du haule.....	125
Tableau IV.10 : Consommation énergétique des appareils qui fonctionnent 24h de la médiathèque. 135	

Symboles et abréviations

PV	Photovoltaïque
Si	silicium
Eg	énergie de gap
Icc	Le courant de court-circuit
GPV	Générateur photovoltaïque
Ec	énergie consommée
P	puissance de fonctionnement de l'appareil
t	temps d'utilisation
Pi	Puissance électrique d'un appareil « i » exprimée en Watt (W)
Ti	Durée d'utilisation de cet appareil « i » en heure par jour (h/j)
Pch	Puissance crête de champs photovoltaïque en Watt crête (Wc)
Ir	Temps moyen d'ensoleillement journalier (h/jour)
Vch	tension total du cham
Vn	la tension délivrée par un seul panneau photovoltaïque
Nm	nombre total de panneaux photovoltaïques
Ns	nombre de panneaux connectés en série
Cbat	capacité du parc de batterie en ampère heure (Ah)
D	décharge maximale admissible
Ubat	tension du parc de batteries (V)
Vbat	tension du champ
Cbat	capacité totale du parc de batteries
Ie	Courant d'entrée
Is	Courant de sortie
R	la résistance en (Ω)
P	la résistivité en ($\Omega.m$).

- L** la longueur du câble en (m)
- S** la section du câble s en (mm²)
- Pc** puissance totale consommée

Introduction générale

Introduction générale :

Dans un contexte mondial où les ressources fossiles se raréfient, où la demande d'énergie ne cesse de grimper et où les inquiétudes liées au réchauffement climatique s'intensifient, le recours aux énergies renouvelables est devenu une option incontournable. L'énergie solaire se distingue parmi ces options par son caractère abondant, propre et son potentiel presque sans limites.

Plusieurs pays développés, dont l'Allemagne, l'Espagne et le Japon, ont déjà intégré l'énergie solaire photovoltaïque dans leur réalité. La fabrication de modules photovoltaïques a connu une évolution majeure ces dernières années, entraînant une diminution significative des coûts de production. L'énergie solaire photovoltaïque sur le plan mondial a connu une expansion fulgurante, passant de 5 MW en 1982 à 93 GW en 2021 [1].

Dans le cadre efforts visant à améliorer la durabilité des infrastructures universitaires et à réduire la dépendance vis-à-vis du réseau électrique conventionnel, il a été proposé d'équiper la Médiathèque de l'université d'un système photovoltaïque (autonome et réseaux). Cette décision fait suite aux coupures fréquentes d'électricité, qui impactent négativement le déroulement des activités académiques au sein de la médiathèque, notamment durant les périodes d'examens et de recherches.

Le projet vise également à réduire la consommation d'électricité provenant du réseau public, contribuant ainsi à une meilleure gestion de l'énergie et à la réduction des coûts à long terme, tout en s'inscrivant dans une démarche de protection de l'environnement à travers l'adoption d'une source d'énergie propre et renouvelable.

Le premier chapitre présente les différents types d'énergie renouvelable leurs avantages et inconvénients, ainsi que l'énergie solaire et leurs exploitations.

Le deuxième chapitre est consacré aux systèmes photovoltaïques, en abordant leur fonctionnement, leur mode de raccordement ainsi que leurs avantages et inconvénients.

Le troisième chapitre traite de l'orientation optimale des modules photovoltaïques, du dimensionnement des installations solaires, ainsi que d'une vue d'ensemble sur les principaux logiciels de modélisation des systèmes photovoltaïques PVSYST.

Introduction générale

Le quatrième et dernier chapitre présente nos résultats théoriques ainsi celles par le PVSYST de dimensionnement et de l'estimation des couts d'une installation photovoltaïque pour la médiathèque de l'université d'AIN TEMOUCHENT. Le travail se termine par une conclusion générale et bibliographie.

Chapitre I

Revue littérature

I.1 Introduction :

L'énergie est au cœur des enjeux environnementaux et économiques mondiaux actuels. Face à la crise climatique et à la nécessité de réduire notre dépendance aux énergies fossiles, les énergies renouvelables s'imposent comme une solution incontournable pour un avenir plus durable. Parmi elles, l'énergie solaire se distingue par son abondance, sa propreté et ses multiples applications. En effet, l'exploitation de l'énergie solaire permet de produire de l'électricité, de chauffer des bâtiments et de répondre à divers besoins énergétiques tout en réduisant l'empreinte carbone. Cette transition vers l'énergie solaire, soutenue par des avancées technologiques, représente une étape clé dans la lutte contre le changement climatique et dans la quête d'une indépendance énergétique durable.

I.2 L'énergie renouvelable :**I.2.1 Définition :**

Une énergie renouvelable est une forme d'énergie qui peut être naturellement régénérée ou réapprovisionnée. Ainsi, ils peuvent être utilisés sans limite de temps, contrairement aux énergies fossiles qui proviennent de ressources finies [1].

On distingue cinq grandes catégories d'énergies renouvelables, classées selon leur rôle actuel, comme l'indique la figure (I.1)

- L'énergie hydraulique.
- L'énergie éolienne.
- Biomasse.
- L'énergie géothermique.
- Énergie solaire.

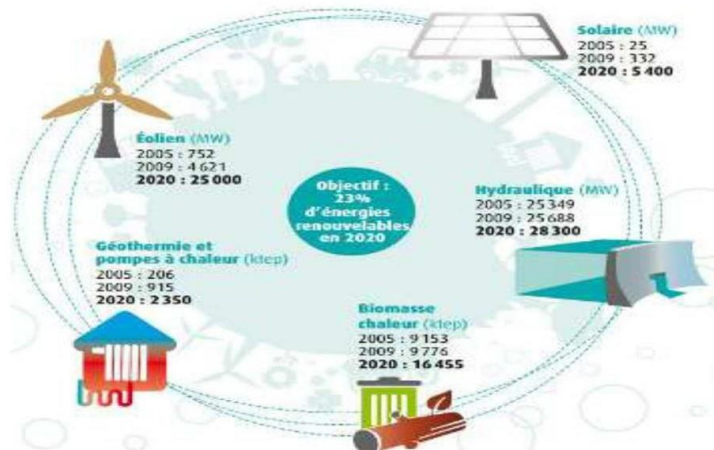


Figure (I.1) : Les énergies renouvelables [1].

I.2.2 Les différentes formes d'énergies renouvelables :

Divers types d'énergies renouvelables existent à travers le monde et peuvent contribuer à pallier l'épuisement des ressources fossiles. Les voici :

I.2.2.1 L'énergie hydraulique :

Actuellement, l'hydraulique est la principale source d'électricité renouvelable. En 2004, la capacité hydroélectrique en place à l'échelle mondiale était évaluée à 715 GW, ce qui représente approximativement 19% de la production électrique mondiale. Environ 15 % de la capacité électrique installée en Europe provient de sources hydrauliques.

L'énergie hydraulique utilise l'énergie mécanique (cinétique et potentielle) de l'eau pour produire de l'électricité. La méthode employée pour générer de l'électricité à partir de la force hydraulique est identique à celle utilisée dans les moulins à eau de l'époque antique. Plutôt que de faire tourner une roue, la puissance de l'eau actionne une turbine qui entraîne un alternateur pour générer de l'électricité [2].



Figure (I. 2) : Energie hydraulique [3].

Avantage :

- Sa production n'entraîne pas d'émissions de CO₂ et ne génère pas de déchets toxiques.
- On peut rapidement augmenter la puissance produite en cas de panne d'électricité.
- Plus de régularité pour produire de l'énergie (par rapport au vent par exemple).

Inconvénient :

- La construction de barrages détruit des milieux naturels.
- Des familles doivent parfois quitter leur maison.
- Les barrages coûtent très cher à construire.

I.2.2.2 L'énergie éolienne :

L'énergie éolienne est une forme d'énergie qui repose sur le vent. La Terre est chauffée de manière inégale par le soleil, engendrant des régions de températures et de pressions atmosphériques variées à travers le monde. Ces variations de pression engendrent des déplacements d'air, que l'on nomme vent. Cette énergie est utilisée pour produire de l'électricité via des aérogénérateurs, communément appelés éoliennes, en exploitant la puissance du vent [4].



Figure (I. 3) : Ferme des éoliennes [1].

Avantage :

- Elle utilise une ressource naturelle et gratuite : le vent.
- Elle ne produit pas de gaz à effet de serre.
- Elle occupe peu d'espace au sol.

Inconvénient :

- On reproche aux éoliennes de générer des nuisances sonores. Cependant, de nos jours, les nouveaux types d'éoliennes Fabrication à l'aide de techniques innovantes génèrent peu de bruit. De plus, des réglementations existantes concernant l'établissement de parcs éoliens, notamment l'obligation de ne pas les installer à moins de 500 mètres d'une zone résidentielle [6].
- Les matériaux utilisés pour leur construction (comme les aimants) ne sont pas toujours écologiques.
- Elle dépend de la force et de la régularité du vent.

I.2.2.3 L'énergie géothermique :

La géothermie fait référence à l'énergie géothermique tirée de la chaleur de la Terre. Trois types de géothermie sont habituellement différenciés selon la température accessible pour l'exploitation :

- La géothermie à haute énergie
- La géothermie de basse énergie.

- La géothermie de très basse énergie.

Pour exploiter cette énergie souterraine, de l'eau froide est injectée dans le sol, où elle se réchauffe. Ensuite, elle est pompée et remontée à la surface, où elle peut être utilisée soit pour produire de l'électricité dans une centrale, soit directement comme eau chaude pour les habitations (douches, radiateurs, etc.) [2].



Figure (I.4) : Énergie géothermique [3].

Avantage :

- Produire peu de pollution (pas de CO₂ en grande quantité).
- Elle a un rendement élevé, surtout pour la chaleur.
- Les installations ont une longue durée de vie (souvent plus de 30 ans).

Inconvénient :

- La géothermie peut provoquer des secousses sismiques (microséismes).
- Elle est limitée géographiquement (surtout dans les zones volcaniques).
- L'exploitation mal gérée peut épuiser le réservoir de chaleur.

I.2.2.4 Biomasse :

On a employé la biomasse solide en tant que source d'énergie renouvelable. Dans quelques régions du globe, c'est le principal moyen d'énergie pour la cuisson des aliments et le chauffage domestique. Cette biomasse, incluant tous les produits dérivés de plantes ou leurs résidus, qui sont séchés ou déshydratés, comme le bois, la paille, les résidus d'olive et la bagasse, est valorisée par combustion ou métabolisme. Toutefois, pour être véritablement

renouvelable, la quantité consommée ne doit pas excéder la quantité générée. Selon les exigences, elle offre la possibilité de produire de la chaleur ou de l'électricité de manière continue. Par conséquent, sa contribution à la production d'énergie mondiale est considérable comparativement aux autres sources d'énergie [1].

Les ressources :

-Agriculture.

-Le bois et les forêts.

-Les plantes aquatiques et les algues.

-Les déchets organiques provenant de la consommation domestique, de l'industrie ou de l'agriculture.

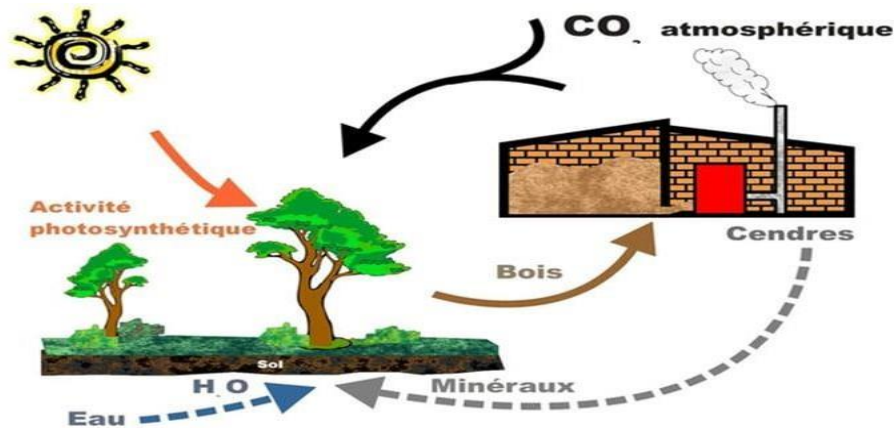


Figure (I. 5) : Principe de la biomasse [1].

Avantage :

- La biomasse est renouvelable si les ressources (plantes, bois...) sont bien gérées.
- Elle peut être utilisée pour produire de l'électricité, de la chaleur ou du biocarburant.
- Elle dégage autant de CO₂ qu'elle n'en absorbe (les plantes absorbent du CO₂ lors de la photosynthèse).

Inconvénient :

- Elle peut émettre des polluants si la combustion est mal contrôlée.
- Le rendement énergétique est parfois plus bas que d'autres sources.
- La mise en place des installations (centrales, chaudières) peut être coûteuse.

I.2.2.5 L'énergie solaire :

Énergie solaire est une forme d'énergie qui est tributaire du soleil. Cette énergie permet de produire de l'électricité via des panneaux photovoltaïques ou des centrales solaires thermiques, en utilisant les rayons du soleil captés par des panneaux solaires [5].



Figure (I.6) : Énergie solaire [7].

Avantage :

- Le Soleil représente une ressource énergétique durable, accessible partout sur la planète, avec une disponibilité constante sur le long terme.
- L'énergie solaire photovoltaïque ou thermique génère peu ou pas d'émissions de gaz à effet de serre lors de son fonctionnement.
- Les progrès technologiques et la production de masse ont considérablement réduit le coût des panneaux solaires, rendant l'énergie solaire plus compétitive.

Inconvénient :

- La production dépend fortement de l'ensoleillement, ce qui limite son efficacité la nuit ou lors de conditions météorologiques défavorables.
- L'utilisation de systèmes de stockage (comme les batteries) est indispensable, ce qui augmente les coûts et soulève des enjeux environnementaux.
- Les panneaux solaires ont une durée de vie moyenne de 25 à 30 ans, et le recyclage des composants n'est pas encore optimisé à grande échelle.

I.3 Energie solaire :

I.3.1 Le soleil :

Le soleil représente une source d'énergie pratiquement infinie, capable de satisfaire notre consommation globale d'énergie à plusieurs milliers de reprises.

Le Soleil est une sphère gazeuse composée principalement d'hélium et d'hydrogène (80 % d'H₂, 19 % d'He et 1 % d'autres éléments). Sa densité moyenne au centre est de 76 000 kg/m³. La masse du Soleil représente 99,58 % de la masse totale du système solaire, soit 330 000 fois celle de la Terre [8].

Cette immense sphère gazeuse agit comme un gigantesque four thermonucléaire, où les atomes d'hydrogène se transforment en hélium en permanence, via une réaction de fusion thermonucléaire d'une envergure massive [9].

La masse se transforme alors en énergie selon l'équation d'Einstein ($E=mc^2$). Ce processus permet de maintenir la température de la surface du Soleil autour de 5800 °K [9].

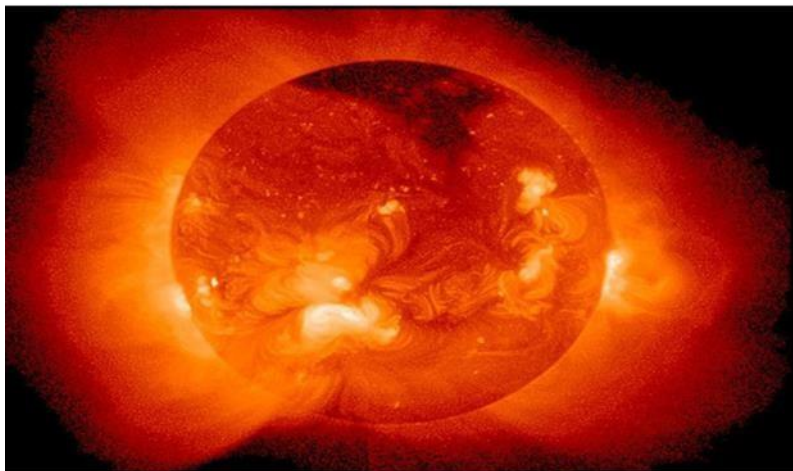


Figure (I.7) : Le soleil [10].

Principales régions du soleil :

- *L'intérieur du Soleil* : est le site où l'énergie est produite à travers une série de réactions thermonucléaires exothermiques, appelées « cycle de Bethe ». La température dans cette région varie entre 8 millions et 40 millions de degrés Kelvin, tandis que la pression y atteint un milliard d'atmosphères [8]."

• **La photosphère** : est une couche mince d'environ 300 km d'épaisseur. Elle est la principale source du rayonnement solaire qui atteint la Terre. Sa température moyenne est de quelques milliers de degrés, mais elle diminue rapidement à mesure qu'on s'enfonce, atteignant environ 5720 K à sa surface [8].

• **La chromosphère et la couronne** : sont des régions à faible densité, où la matière est fortement diluée, le rayonnement qu'elles émettent est très faible [8].

I.3.2 Caractéristique du soleil :

On estime que l'âge du Soleil est de 5 milliards d'années, et qu'il n'a utilisé que 14 % de ses réserves d'énergie depuis le début de sa vie.

Tableau (I.1) : Caractéristique du soleil [1].

Caractéristique	Valeurs
Surface (Km ²)	6,0877×10 ¹²
Diamètre (Km)	1 392 684
Volume (Km ³)	1,412×10 ¹⁸
La masse (Kg)	1,9891×10 ³⁰
La masse volumique moyenne (Kg/m ³)	1408
Flux énergétique (W)	3,826×10 ²⁶
Vitesse (Km/s)	217
Distance du centre de la voie lactée (km)	2,5×10 ¹⁷

I.3.3 Rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire ou spectre se réfère à toutes les ondes électromagnétiques qui proviennent du soleil.

Il produit constamment des radiations, ainsi que des particules. En fonction de la longueur d'onde, on peut différencier les domaines visible, infrarouge et ultraviolet. On ne peut pas voir ces deux derniers à l'œil nu. Environ 50% de l'énergie est libéré sous forme de rayonnement infrarouge, et se décompose approximativement sur 3 bandes [11] :

- 9% dans la bande des Ultraviolets (< 0.4 μm)
- 47 % dans la bande visible (0.4 à 0.8 μm)
- 44 % dans la bande des infrarouges (>0.8μm)

L'émission de rayonnement se fait en paquets d'ondes dénommés photons ; l'énergie associée à chaque photon est définie par la relation suivante :

$$E = \frac{h \times c}{\lambda} \quad (I.1)$$

h : constante de Planck $h = 6,62 \times 10^{-34}$ [J.s]

c : vitesse de lumière [m/s]

λ : Longueur d'onde [m]

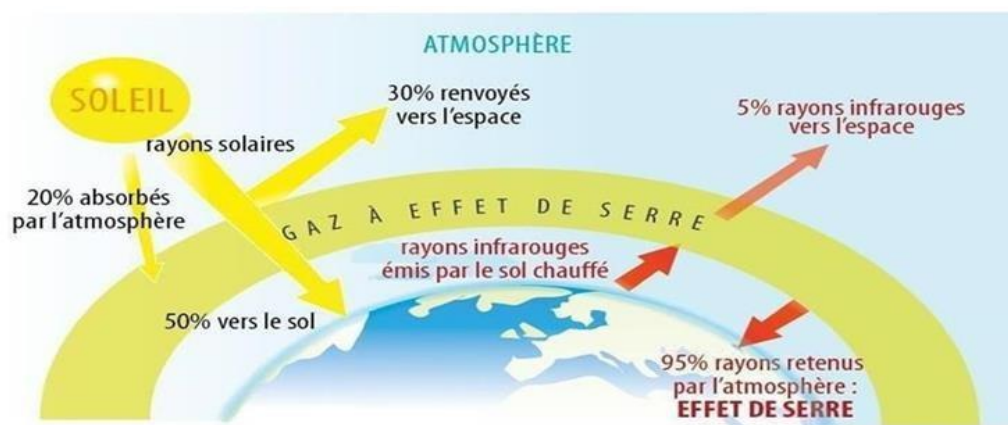


Figure (I.8) : Rayonnement solaire transmise à la terre [5].

Il est nécessaire de connaître le spectre du rayonnement solaire reçu par le sol :

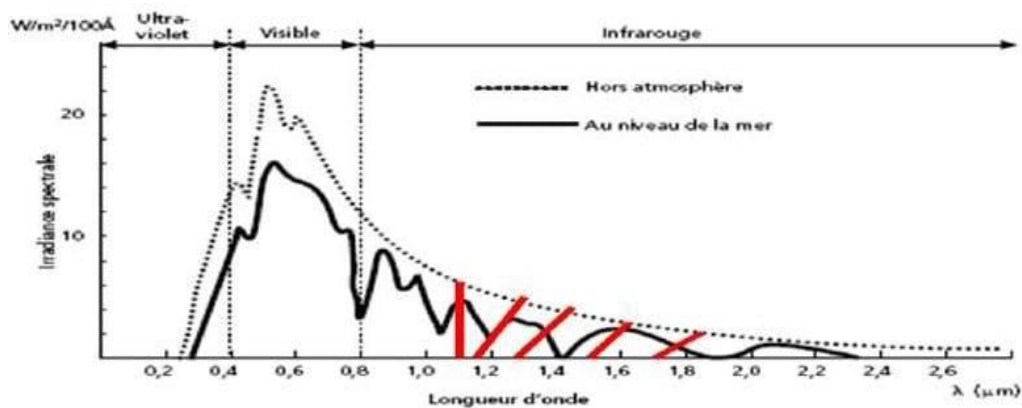


Figure (I.9) : Le spectre du rayonnement solaire [8].

On distingue plusieurs composantes de rayonnement solaire :

➤ **Rayonnement solaire direct :**

Le rayonnement direct fait référence à la lumière solaire qui atteint directement la surface de la Terre depuis le soleil. Cela dépend de l'épaisseur de l'atmosphère que le rayonnement solaire doit traverser et de l'inclinaison des rayons par rapport au sol.

L'instrument qui sert à mesurer l'intensité du rayonnement direct est le pyréliomètre.

Le Pyréliomètre doit être équipé d'un mécanisme qui assure son orientation constante vers le soleil [12].

➤ **Rayonnement solaire diffuses :**

On désigne également le rayonnement diffus sous le terme de rayonnement indirect. Cela est dû à l'absorption et à la dispersion d'une portion du rayonnement solaire global par l'atmosphère, ainsi qu'à sa réflexion par les nuages et les aérosols. En d'autres termes, le rayonnement diffus est la portion du rayonnement solaire qui a rencontré au moins une particule de gaz atmosphérique, changeant ainsi l'angle d'incidence, et qui par conséquent parvient au sol puisqu'il est orienté vers celui-ci. Une portion du rayonnement diffus retourne vers l'espace [12].

➤ **Le rayonnement réfléchi ou l'albédo du sol :**

C'est la radiation qui est renvoyée par le sol ou par des objets présents à sa surface. L'albédo, noté « c », est le coefficient de réflexion dont les valeurs sont souvent exprimées entre 0 et 1 ou en pourcentage. Il est défini par le rapport entre l'énergie réfléchie par une surface et l'énergie qui y incident. La valeur moyenne de la Terre est de 40% ($c = 0,4$). Cet albédo peut avoir une grande importance lorsque la surface du sol est particulièrement réfléchissante (par exemple, l'eau, la neige, etc.) [12].

➤ **Rayonnement global :**

La figure(I.10) représente les divers éléments du rayonnement solaire à la surface terrestre, qui est la somme du rayonnement direct et diffus. On la mesure à l'aide d'un pyromètre ou d'un Solari mètre sans affichage [13].

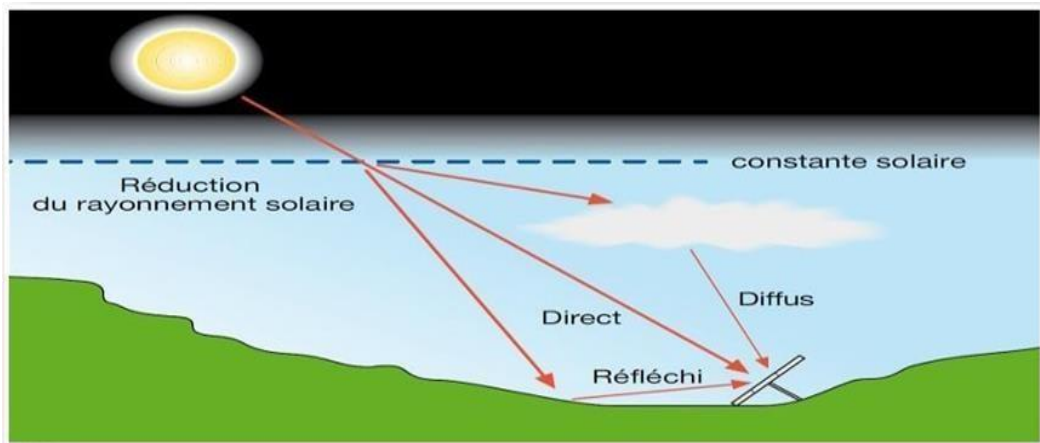


Figure (I.10) : Les types de rayonnement solaire reçus au sol [13].

I.3.4 Les coordonnées terrestres :

Chaque point sur la surface de la Terre est déterminé par les coordonnées géographiques suivantes : la longitude, l'altitude et la latitude

Longitude (λ) : La longitude représente l'angle formé entre le méridien traversant un endroit donné et le méridien d'origine qui est celui de Greenwich. Elle peut varier de -180° à $+180^\circ$, de l'ouest vers l'est [14].

- Longitude OUEST $\lambda < 0^\circ$

- Longitude EST $\lambda > 0^\circ$

Latitude (φ) : L'angle de latitude (φ) correspond à la mesure de l'angle formé entre une ligne tirée d'un lieu sur le globe terrestre vers son centre, cette valeur peut osciller entre $+90^\circ$ au pôle Nord et -90° au pôle Sud [14].

Altitude (z) : L'altitude d'un lieu fait référence à l'écart vertical en mètres entre ce lieu et une surface de référence théorique (niveau moyen de la mer) [14].

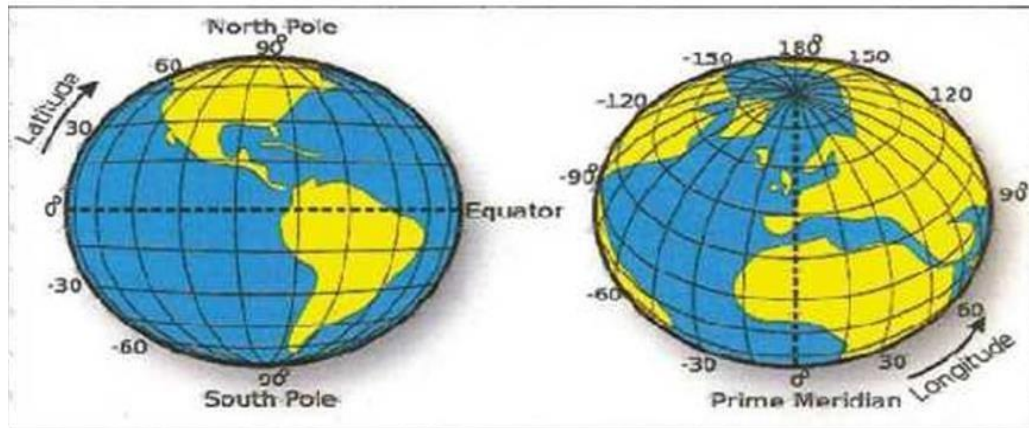


Figure (I.10) : Les coordonnées terrestres [14].

I.3.5 Les coordonnées équatoriales :

Dans la zone équatoriale, l'emplacement du soleil dans le ciel est déterminé par deux coordonnées : la déclinaison et l'angle horaire ω .

a) La déclinaison :

Cette variation fluctue tout au long de l'année entre $-23,45$ et $+23,45$. Elle atteint un niveau bas lors des équinoxes du printemps (21 mars) et de l'automne (21 septembre), au point le plus bas à la surface terrestre lors du solstice d'été (21 juin) et au point le plus haut lors du solstice d'hiver (21 décembre) [14].

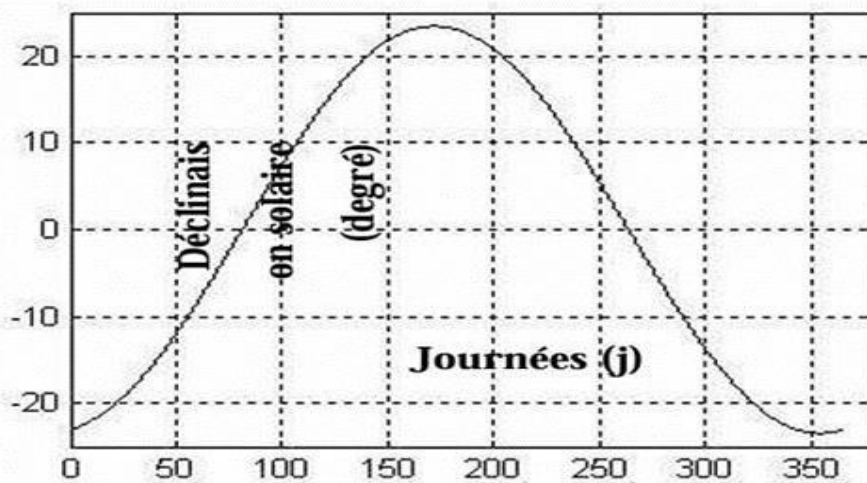


Figure (I.11) : Courbe de déclinaison du soleil [15].

b) L'angle horaire ω :

C'est l'angle créé entre la projection du soleil sur le plan équatorial à un instant précis et sa projection sur ce même plan au midi solaire. Il est fourni par l'équation suivante [16]:

$$\omega = 15 \times (\text{TSV}-12) \quad (\text{I.2})$$

Avec :

TSV : temps solaire vrai

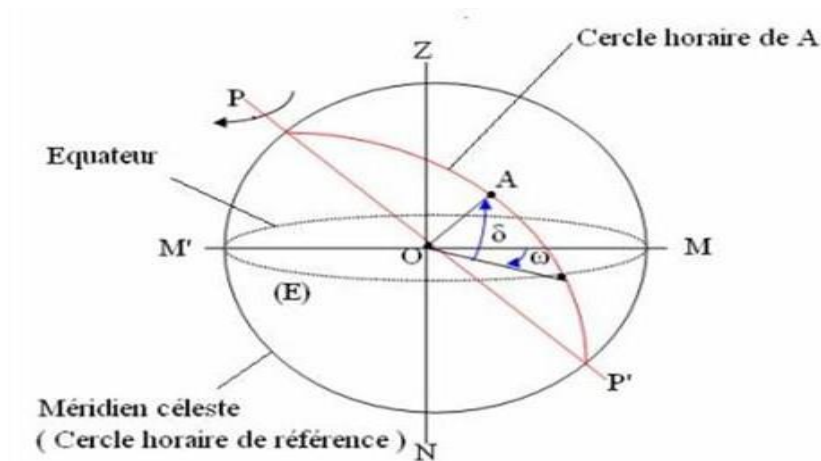


Figure (I.12) : Coordonnée horaire [17].

I.3.6 Les coordonnées horizontales :

La hauteur du soleil (h) : Il s'agit de l'angle h créé par le plan horizontal d'où l'on observe et la trajectoire du soleil [17].

Il est donné par la relation :

$$\sin(h) = \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) \quad (\text{I.3})$$

Azimut du soleil (a) : ou l'angle qui détermine l'orientation de la direction sud du soleil par rapport à la direction sud. On effectue le comptage de 0° à 180° , en partant du sud et en se dirigeant vers l'ouest [17].

$$\sin(a) = \frac{\sin(\omega) \cdot \cos(\delta)}{\cos(h)} \quad (\text{I.4})$$

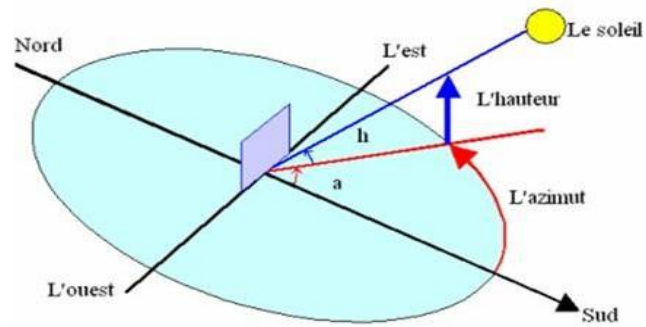


Figure (I.13) : Coordonnées horizontale [17].

Avec :

ω : Angle horair.

δ : Déclinaison du soleil.

h : Hauteur du soleil.

I.3.7 Inclinaison de soleil :

Il s'agit de l'inclinaison qui prend la surface par rapport au plan horizontal. La variable β , qui représente l'inclinaison de la surface, est sélectionnée de manière à ce que [3] :

$\beta = 0$ pour une surface horizontale.

$\beta = 90^\circ$ pour un plan vertical.

$\beta = 180^\circ$ pour un plan horizontal tourné vers le bas.

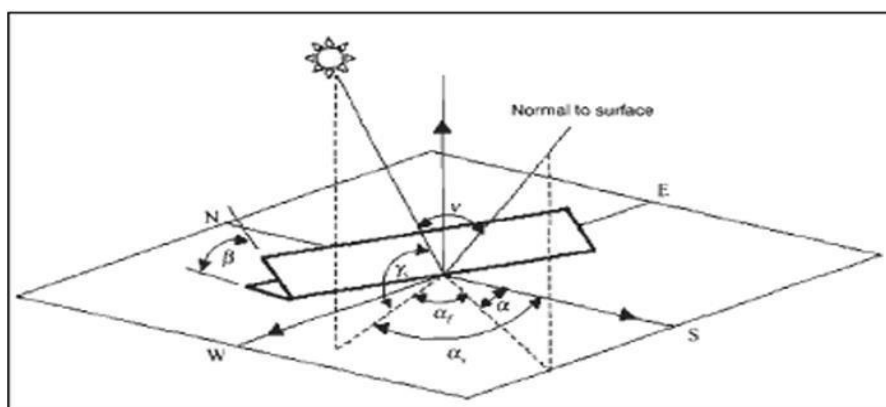


Figure (I.14) : Orientation et inclinaison d'une surface [3].

I.3.8 Masse d'air :

On désigne par « masse d'air » AM, la portion de l'énergie solaire qui est absorbée par l'atmosphère.

Elle représente la distance proportionnellement parcourue dans l'atmosphère terrestre par les radiations solaires.

$$AM \approx \frac{1}{\sin \theta} \quad (I.5)$$

θ : Démontrez l'angle formé entre la position solaire et l'horizon [18].

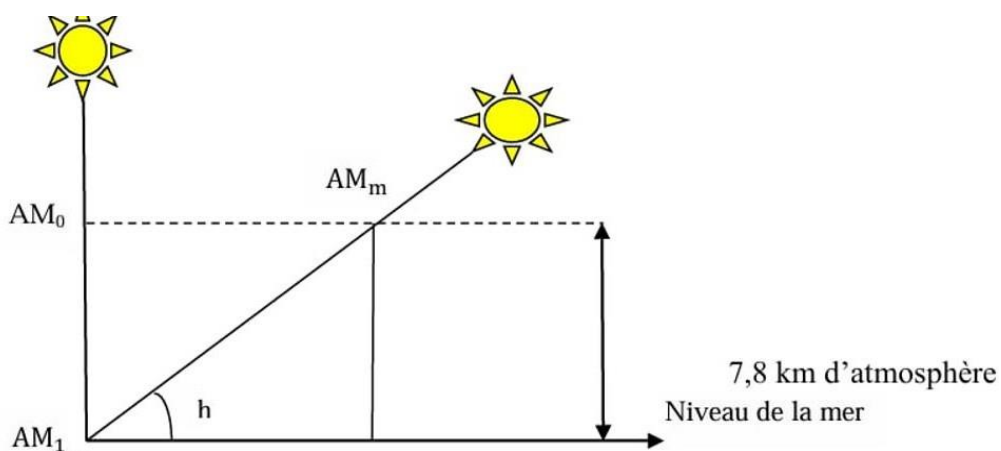


Figure (I.15) : Masse d'aire [19].

I.3.9 La constante solaire :

La constante solaire désigne l'énergie rayonnée reçue hors de l'atmosphère par unité de surface placée perpendiculairement au flux du rayonnement solaire. E_0 (w.m⁻²) représente la constante solaire estimée à 1353 (w.m⁻²) jusqu'au début des années 1970. Cette valeur fixe correspond au flux d'énergie lumineuse provenant du soleil, aussi appelé irradiance. Le changement de cette valeur dépend principalement de la distance Terre-Soleil, qui est liée à l'excentricité de l'orbite terrestre. Des observations exactes réalisées par les satellites ont permis de déterminer ces fluctuations au fil de l'année avec des valeurs situées entre 1322 (w.m⁻²) en Juillet et 1412 (w.m⁻²) en Janvier [19].

La constante solaire standard a finalement été établit par l'Organisation météorologique internationale = 1367 w/m² [20].

$$E_0 = 1367 \text{ w/m}^2$$

Avec cette valeur on obtient : $T_s=5777 \text{ k}$ et $M_s=63,2 \text{ w/m}^2$

I.3.10 Irradiation solaire :

La puissance reçue par une surface est définie comme l'irradiation (l'ensoleillement ou l'éclairement). Il est exprimé en W/m^2 (watt par mètre carré).

La surface reçoit de l'énergie sous forme d'irradiation ou de rayonnement. Elle s'exprime en Joule par mètre carré (Jm^{-2}).

On utilise également fréquemment le Wh/m^2 (wattheure par mètre carré) comme unité.

Il est important de noter que l'irradiation solaire dépend de [21] :

- l'orientation et l'inclinaison du panneau solaire.
- la latitude du lieu et son degré de pollution.
- la période de l'année.
- l'instant considéré dans la journée.
- la nature des couches nuageuses.

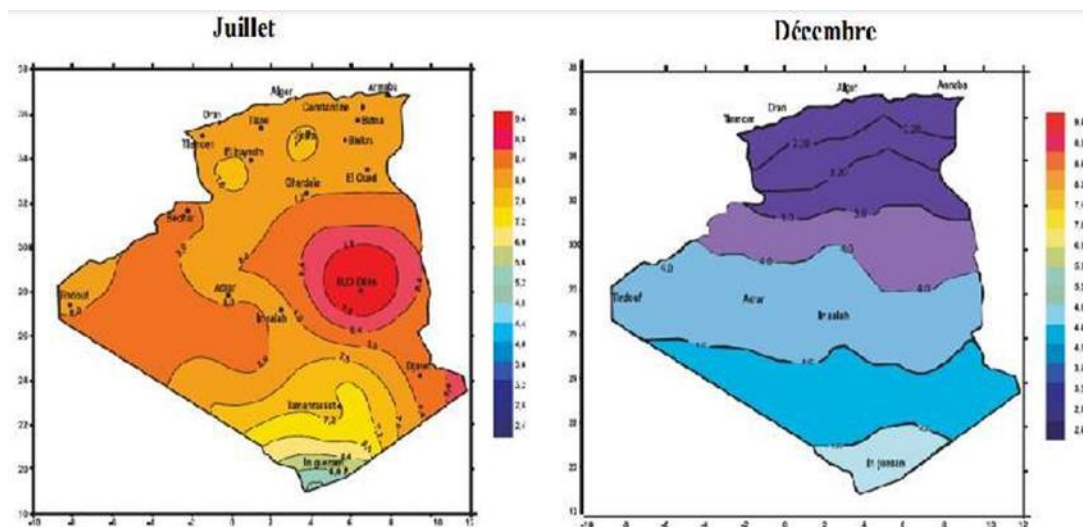


Figure (I.16) : Irradiation globale journalière reçue sur plan horizontal aux mois de Juillet et Décembre [22].

I.3.11 Durée d'insolation (Insolation) :

Le terme « durée d'insolation » désigne la période pendant laquelle l'éclairement solaire direct reçu sur un plan perpendiculaire dépasse un seuil conventionnel fixé à 120 W/m².

En l'absence continue de nuages, la durée d'insolation coïncide presque parfaitement avec la durée du jour, également connue sous le nom de durée théorique ou astronomique du jour. Elle est caractérisée par [23] :

$$S_0 = \frac{2}{15} \omega_0 \quad (I.6)$$

Avec :

ω_0 : L'angle horaire au coucher de soleil (°).

ϑ_0 : Durée du jour (h).

I.4 Exploitation de l'énergie solaire :

On utilise l'énergie solaire en captant les rayons du soleil et en transformant en électricité ou en utilise leur chaleur, il existe trois types d'énergie solaire sont :

I.4.1 L'énergie photovoltaïque :

L'énergie solaire photovoltaïque utilise l'effet photoélectrique pour produire un courant continu. Cette source de lumière peut être d'origine naturelle (comme le soleil) ou artificielle (comme une ampoule). Un système photovoltaïque raccordé au réseau électrique se compose généralement de plusieurs panneaux solaires, leur quantité pouvant aller de quelques dizaines à plusieurs milliers [7].

Applications :

- **Panneaux solaires résidentiels** : Installés sur les toits, ces panneaux convertissent la lumière solaire en électricité pour alimenter les maisons.
- **Parcs solaires** : Grandes installations photovoltaïques qui génèrent de l'électricité à grande échelle pour alimenter les réseaux électriques.
- **Équipements mobiles et autonomes** : Les petites cellules photovoltaïques sont utilisées pour alimenter des appareils comme des calculatrices solaires, des lampes, des pompes à eau, des systèmes de télécommunication dans des zones isolées, etc.



Figure (I.17) : Champ photovoltaïque [7].

I.4.2 L'énergie solaire thermique :

L'énergie solaire thermique est l'ensemble des techniques permettant de capter la chaleur générée par le rayonnement solaire pour l'exploiter. Elle repose sur l'utilisation de capteurs ou collecteurs solaires qui absorbent l'énergie du soleil et la transmettent sous forme de chaleur à un fluide. Cette forme d'énergie est particulièrement appréciée pour son efficacité et sa capacité à réduire la consommation d'énergie fossile.

Un collecteur focalise les rayons solaires sur un échangeur, où cette énergie est transférée à un fluide qui peut soit s'évaporer directement, soit acheminer la chaleur vers un générateur de vapeur. Un certain nombre de composants sont communs à tous les systèmes : un accumulateur pour concentrer la chaleur, un fluide ou un gaz pour transmettre la chaleur à un point d'extraction, un évaporateur, un condenseur, une turbine ou encore un alternateur [24].

Application :

- ***Chauffe-eau solaire*** : Utilisation de panneaux solaires thermiques pour chauffer l'eau dans les foyers ou les installations industrielles.
- ***Chauffage des bâtiments*** : Les systèmes de chauffage solaire à air ou à eau permettent de chauffer des maisons ou des bâtiments commerciaux en utilisant la chaleur solaire.
- ***Centrales solaires thermiques*** : Grandes installations utilisant des miroirs ou des lentilles pour concentrer les rayons du soleil et produire de la chaleur qui est ensuite utilisée pour générer de l'électricité.

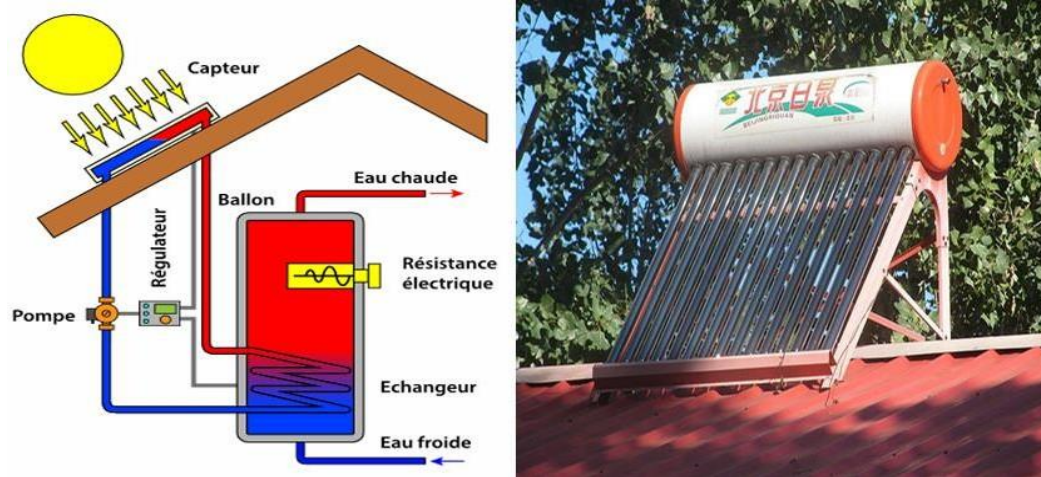


Figure (I.18) : Énergie solaire thermique [7].

I.4.3 L'énergie solaire thermodynamique CSP (Concentrated Solar Power) :

Des centrales solaires à concentration sont utilisées pour produire de l'énergie solaire thermodynamique. C'est un dispositif constitué de miroirs englobant des fluides thermiques, associé à un générateur d'énergie solaire. Tout comme les panneaux solaires thermiques, ce sont les miroirs qui convertissent l'énergie captée par les rayons solaires en chaleur. Cette chaleur présente une température très élevée. Bien au-delà de la température à laquelle elle a été. Selon la méthode utilisée, elle peut atteindre une température de 250 à 800 degrés. Un turbo-alternateur sera utilisé pour transformer cette chaleur en électricité [25].

Application :

- *Centrales solaires thermiques à concentration* : Ces centrales sont particulièrement efficaces dans les régions très ensoleillées, comme le désert, et peuvent produire de l'électricité de manière continue même en dehors des heures de soleil grâce à des systèmes de stockage thermique.

L'exploitation de l'énergie solaire est une solution de plus en plus populaire, en raison de son caractère renouvelable et non polluant. Elle permet de répondre à divers besoins énergétiques tout en contribuant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

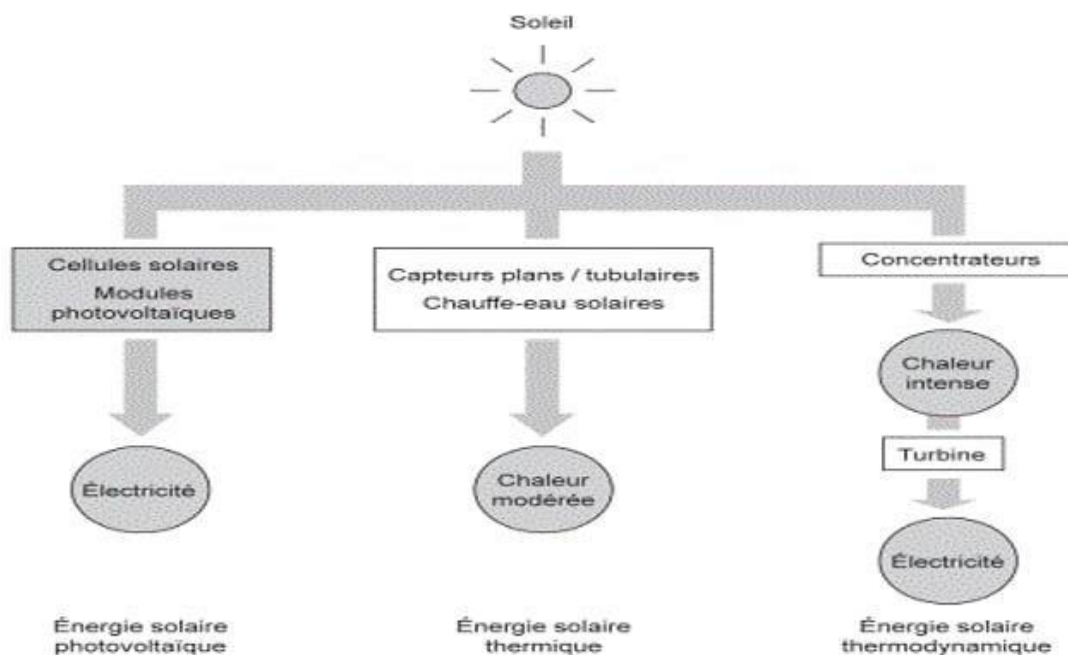


Figure (I.19) : Les différents modes d'exploitation de l'énergie solaire [26].

I.5 L'importance de rayonnement solaire pour le système PV :

Les cellules photovoltaïques exploitent l'effet photoélectrique pour générer de l'électricité en courant continu à partir de l'absorption du rayonnement solaire. Ce phénomène autorise les cellules à transformer directement l'énergie lumineuse des photons en électricité par le biais du matériau semi-conducteur porteur de charge [1].

I.6. Conclusion :

En conclusion, l'adoption et l'exploitation des énergies renouvelables, en particulier de l'énergie solaire, constituent des étapes cruciales pour un avenir énergétique durable. Face aux enjeux environnementaux mondiaux et à la nécessité de réduire notre dépendance aux énergies fossiles, l'énergie solaire émerge comme une solution viable, efficace et accessible. Grâce à des technologies innovantes, l'exploitation de l'énergie solaire offre non seulement des avantages écologiques, mais elle permet aussi de répondre aux besoins croissants d'énergie tout en stimulant l'économie verte. En poursuivant son développement, l'énergie solaire joue un rôle clé dans la construction d'un monde plus respectueux de l'environnement et plus autonome sur le plan énergétique.

Chapitre II

Systeme photovoltaïque

II.1 Introduction :

Le système photovoltaïque permet de convertir directement la lumière du soleil en électricité grâce aux cellules photovoltaïques. Ce chapitre s'intéresse à l'étude complète de ce système, en détaillant ses composants, son fonctionnement, les différents types de cellules, ainsi que les avantages et les limites de son utilisation. L'objectif est de comprendre comment cette technologie permet de produire une électricité propre, durable et accessible, aussi bien pour des besoins domestiques qu'industriels.

II.2 Historique de l'énergie photovoltaïque :

On utilise des systèmes photovoltaïques depuis quatre décennies. Les débuts des applications remontent au programme spatial pour la diffusion radio des satellites. Elles se sont poursuivies par des repères maritimes et l'équipement d'emplacements isolés dans tous les pays du globe, en ayant recours à des batteries pour stocker de l'énergie électrique pendant les heures sans soleil [27].

Quelques dates importantes dans l'énergie photovoltaïque :

1839 : Le physicien français Edmond Becquerel découvre l'effet photovoltaïque.

1875 : Werner Von Siemens expose devant l'académie des sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs [27].

1954 : Trois chercheurs américains Chapin, Pearson et Prince fabriquent une cellule Photovoltaïque [27].

1958 : Une cellule avec un rendement de 9 % ; les premiers satellites alimentés par des cellules Solaires sont envoyés dans l'espace [28].

1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'université de Delaware [29].

1983 : La première voiture alimentée en énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000 Km en Australie [29].

II.3. La conversion photovoltaïque :

II.3.1 L'absorption de la lumière :

La lumière est constituée de photons, ces « particules lumineuses », chacun transportant une énergie qui varie en fonction de sa longueur d'onde (ou couleur du faisceau lumineux). Ces photons ont la capacité de traverser certains matériaux, voire de les franchir : Les objets transparents permettent à notre œil de percevoir la lumière visible [30].

En termes plus généraux, un faisceau lumineux qui atteint un solide peut être sujet à trois phénomènes optiques (Figure II.1).

- La réflexion : la lumière est renvoyée par la surface de l'objet.
- La transmission : la lumière traverse l'objet.
- L'absorption : la lumière pénètre dans l'objet et n'en ressort pas, l'énergie est restituée sous une autre forme.

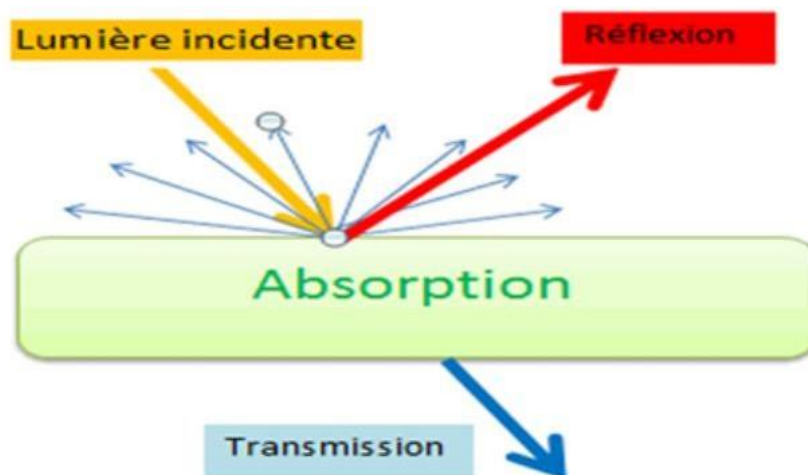


Figure (II.1) : Réflexion, transmission et absorption [31].

Dans un matériau photovoltaïque, une partie du flux lumineux absorbé sera restituée sous forme d'énergie électrique. Il est donc primordial que le matériau soit capable d'absorber la lumière visible, car c'est ce que nous visons à transformer : la lumière du soleil ou d'autres sources artificielles. Nous veillerons aussi à réduire au minimum les pertes purement optiques dues à la réflexion ou à la transmission [30].

On peut envisager la lumière comme des ondes électromagnétiques possédant une longueur d'onde λ ou comme des particules (connues sous le nom de « photons ») ayant une énergie spécifique E_{photon} , qui dépend de λ (II.1) [32].

$$E_{\text{photon}} = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (\text{II.1})$$

Avec :

h : Constante de Planck (J.s).

c : Vitesse de la lumière dans le vide (m.s^{-1}).

v : Fréquence (s^{-1}).

λ : Longueur d'onde (m).

Comprendre les interactions entre le rayonnement et la matière nécessite une connaissance de la dualité de la lumière. Les phénomènes d'absorption de la lumière et de conversion photoélectrique sont influencés à la fois par l'énergie et la longueur d'onde du rayonnement incident. On caractérise le phénomène d'absorption de la lumière par une substance grâce à la loi de Beer-Lambert (formule II.2). Le coefficient d'absorption α (en m^{-1}) est, quant à lui, énoncé dans la formule (II.3). K représente le coefficient d'extinction du matériau et est également fonction de la longueur d'onde du rayonnement [32].

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha x} \quad (\text{II.2})$$

$$\alpha = \frac{4\pi K}{\lambda} \quad (\text{II.3})$$

Avec :

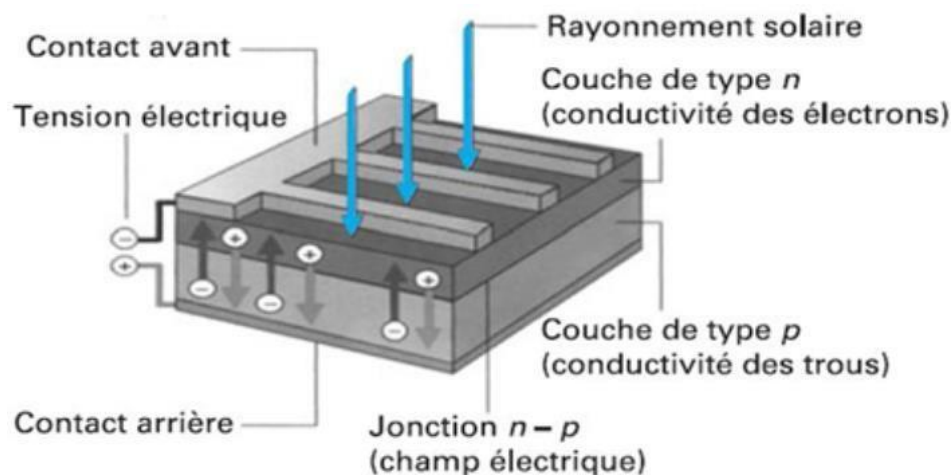
I_0 : Intensité de la lumière incidente (W).

I : Intensité de la lumière sortante (W).

x : Longueur du trajet optique (m).

II.3.2 L'effet photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque se produit lorsqu'un photon est capté par un matériau composé de semi-conducteurs dopés positivement (p) et négativement (n), connu sous le nom de jonction pn (ou np). Grâce à ce dopage, un champ électrique s'installe de façon permanente dans le matériau (à l'instar d'un aimant qui a un champ magnétique permanent). Lorsqu'un photon incident (particule de lumière) entre en interaction avec les électrons du matériau, il transmet son énergie ($h\nu$) à l'électron qui se voit ainsi libéré de sa bande de valence et est donc soumis au champ électrique. Sous l'influence de ce champ, l'électron se déplace vers la face supérieure, laissant un vide qui se dirige dans le sens opposé. En plaçant des électrodes sur les surfaces supérieures et inférieures, on peut collecter les électrons et leur faire accomplir un travail électrique pour atteindre le trou de la face avant, générant ainsi un courant électrique [33].



Figure(II.2) : Jonction P-N dans une cellule photovoltaïque [31].

II.3.3 La cellule photovoltaïque :

La première cellule photovoltaïque, aussi appelée photopile, a été créée aux États-Unis en 1954 par des scientifiques des laboratoires Bell. Ces derniers ont découvert la photosensibilité du silicium.

Pourrait être améliorée en intégrant des « impuretés ». On utilise une méthode connue sous le nom de « dopage » pour tous les semi-conducteurs. Cependant, malgré l'intérêt constant des chercheurs au fil des ans, ce n'est que pendant la course à l'espace que les cellules ont quitté les laboratoires. Effectivement, les panneaux solaires constituent la réponse parfaite pour

répondre aux besoins d'électricité à bord des satellites, tout comme dans n'importe quel endroit éloigné [34].



Figure (II.3) : Une cellule photovoltaïque [34].

II.3.3.a La Structure d'une cellule photovoltaïque :

Une cellule photovoltaïque comprend plusieurs strates. Au cœur de cette cellule, il y a une couche contenant des porteurs de charges négatives (N) qui est en contact avec une autre couche contenant des porteurs de charges positives (P).

Autour du noyau de la cellule, se trouve une couche conductrice (K), également connue sous le nom de grille métallique, car cette couche doit être conductrice et ne pas subir de phénomènes corrosifs. Ainsi, nous avons une couche qui fonctionne comme cathode (pôle positif) recouvrant la couche semi-conductrice dopée N, et une autre qui agit comme anode (pôle négatif) située sous la couche semi-conductrice P. Étant donné que le silicium a une forte capacité de réflexion, nous appliquons un revêtement anti-réverbération sur la surface supérieure de la cellule. Finalement, il y a une couche de verre qui protège la cellule. Il est indispensable d'utiliser ces protections, car la cellule est extrêmement délicate. L'épaisseur globale de la cellule est d'environ un millimètre [35].

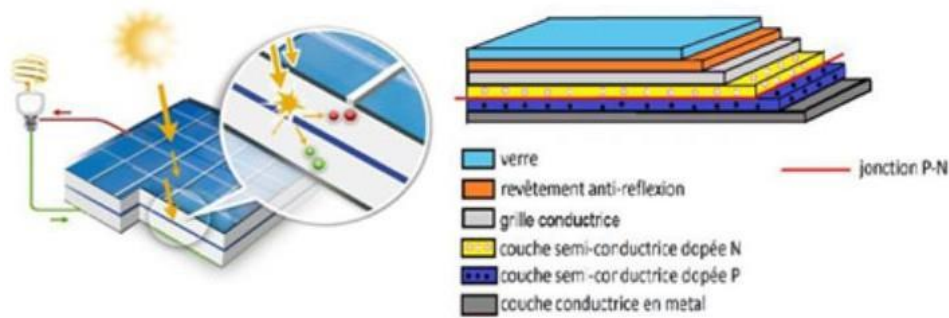


Figure (II.4) : Structure d'une cellule Photovoltaïque [34].

II.3.3.b Le principe de fonctionnement :

Une cellule photovoltaïque est un mécanisme qui rend possible la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique. Cette conversion s'appuie sur les trois processus suivants :

- Le matériau composant le dispositif absorbe les photons dont l'énergie dépasse le gap.
- La conversion de l'énergie du photon en énergie électrique, correspondant à la formation de paires électron/trou au sein des matériaux semi-conducteurs.
- Rassemblement des particules produites dans l'appareil.

Le matériau utilisé dans la cellule photovoltaïque doit ainsi avoir deux niveaux d'énergie et être suffisamment conducteur pour faciliter le passage du courant, ce qui explique l'importance des semi-conducteurs dans le secteur du photovoltaïque.

Pour rassembler les particules produites, un champ électrique qui permet de séparer les paires électrons / trou formées est requis. On emploie généralement une jonction PN à cette fin. On peut également recourir à d'autres structures, telles que les hétérojonctions et les Schottky [34].

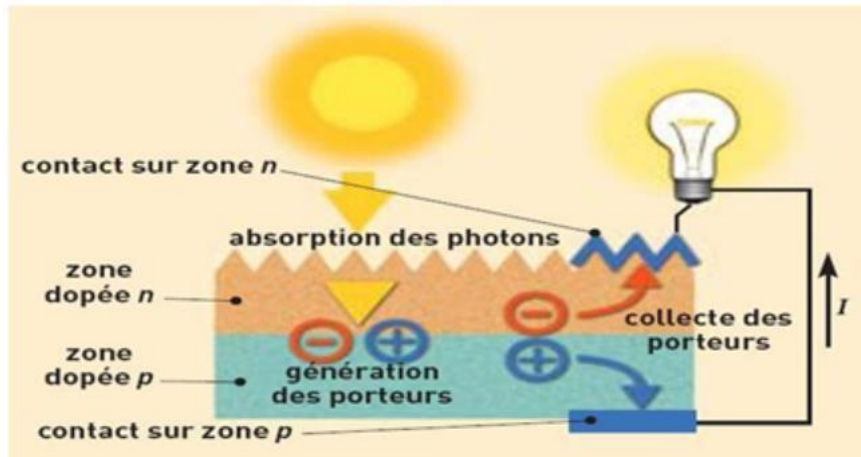


Figure (II.5) : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque [34].

II.3.3.c La jonction p-n :

La jonction p-n constituée par ces deux substances agit en tant que diode. Quand cette diode est soumise à des photons (figure II.6) dont l'énergie ($h\nu$) dépasse celle de l'énergie du matériau, aussi connue sous le nom d'énergie de gap (E_g), il y a une augmentation significative du nombre d'électrons libres dans le semi-conducteur de type-p et des trous dans le semi-conducteur de type-n [36].

Si les photons qui arrivent possèdent une énergie inférieure à E_g , ils ne seront pas absorbés, c'est-à-dire que leur énergie ne contribue pas à la conversion photovoltaïque [37].

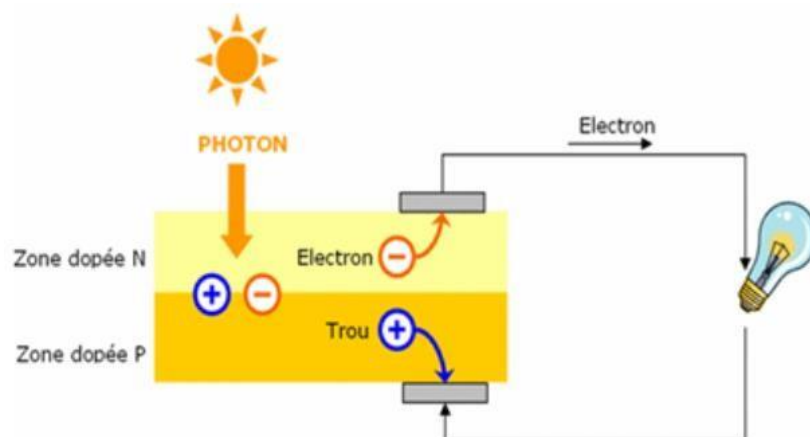


Figure (II.6) : Schéma de principe de la conversion photoélectrique [31].

Le dopage est une technique qui permet d'effectuer la jonction PN. Il s'agit d'injecter des impuretés dans un cristal pur afin de modifier ses caractéristiques électriques. On qualifie alors ce semi-conducteur dopé de « semi-conducteur extrinsèque » [38].

Il existe deux types de dopage : le type N (Négatif) et le type P (Positif)

➤ **Dopage de type N :**

Le dopage de genre N implique l'incorporation d'un atome de phosphore dans la structure cristalline du silicium. Le phosphore, qui a 5 électrons sur sa couche externe, va se lier à 4 atomes de silicium, ce qui laisse un électron libre [38] :

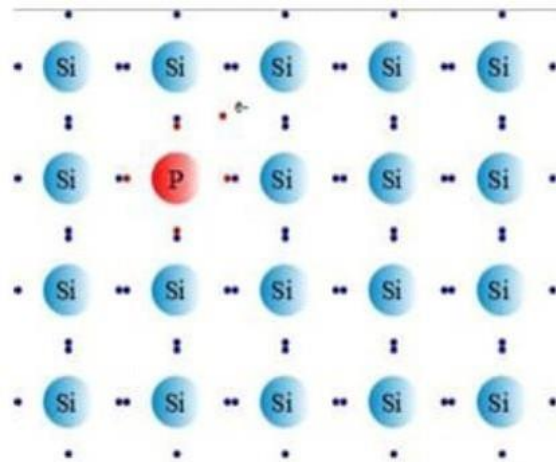


Figure (II.7) : Dopage de type N [38].

Cette modification entraîne une charge globale négative sur la structure cristalline.

➤ **Dopage de type P :**

Le dopage de type P implique l'incorporation d'un atome de bore dans la structure cristalline du silicium. Le bore, qui a 3 électrons sur sa couche électronique extérieure, se trouve à 4 atomes de silicium, laissant ainsi un trou libre [38] :

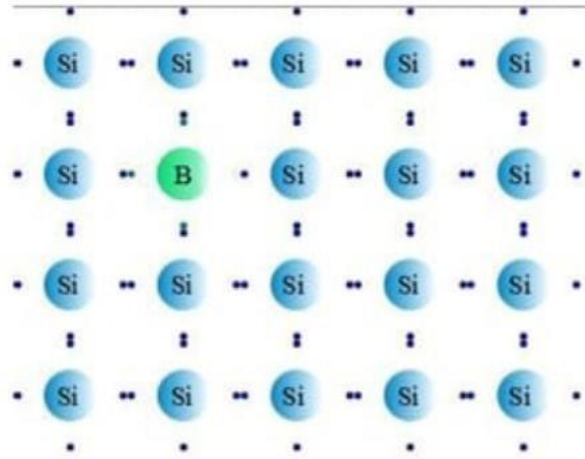


Figure (II.8) : Dopage de type P [38].

Cet ajout entraîne une charge globale positive pour la structure cristalline.

II.4 Caractéristique d'une cellule photovoltaïque :

On peut déterminer ces paramètres en utilisant des équations caractéristiques ou des courbes de courant et de tension.

Voici les plus courants :

a) Tension de circuit-ouvert (V_{co}) :

C'est la tension V_{co} pour laquelle le courant produit par le générateur photovoltaïque est nul (c'est la tension maximale d'une cellule photovoltaïque ou d'un générateur photovoltaïque [39]).

$$0 = I_{cc} - I_{sat} \left[\exp\left(\frac{v}{nKT}\right) - 1 \right] - \frac{v}{R_{sh}} \quad (II.4)$$

Dans un scénario idéal, sa valeur est légèrement inférieure à :

$$V_{co} = V_t \cdot \ln \quad (II.5)$$

b) Courant de court-circuit (I_{cc}) :

Il s'agit du courant pour lequel la tension aux bornes de la cellule ou du générateur photovoltaïque est nulle. Dans une situation idéale (où R_s est nul et R_{sh} est infini), ce courant devient identique au courant photo-électrique ph . Sinon, si on élimine la tension V dans l'équation (II.6), on arrive à [39] :

$$I_{cc} = I_{ph} - I_{sat} \left[\exp\left(\frac{(I_{cc} \times R_s)}{nKT}\right) - 1 \right] - \frac{(I_{cc} \times R_s)}{R_{sh}} \quad (II.6)$$

Pour la majorité des cellules (celles ayant une faible résistance série), il est possible d'ignorer le terme $I_{\text{sat}} \left[\exp \left(\frac{q(I \times R_s)}{nKT} \right) - 1 \right]$ devant I_{ph} . L'expression approchée du courant de court-circuit et alors :

$$I_{\text{cc}} \cong \frac{I_{\text{ph}}}{\left(1 + \frac{R_s}{R_{\text{sh}}}\right)} \quad (\text{II.7})$$

Quantitativement, il a la plus grande valeur du courant généré par la cellule pratiquement ($I_{\text{cc}} = I_{\text{ph}}$).

c) Puissance de la cellule PV :

Dans des conditions de fonctionnement constantes (niveau d'éclairage, température, vitesse du flux d'air ambiant, etc.), la puissance électrique $P(W)$ accessible sur les bornes d'une cellule photovoltaïque est [39] :

$$P = V \cdot I \quad (\text{II.8})$$

$P(w)$: Puissance fournie par la cellule PV.

$V(V)$: Tension mesurée aux bornes de la cellule PV.

$I(A)$: Intensité débitée par la cellule PV

d) Puissance maximale d'une cellule PV :

La puissance délivrée par un module photovoltaïque au circuit externe dépend de la résistance de charge connectée à ses bornes. Cette puissance atteint un maximum, noté P_{max} , pour un point de fonctionnement optimal (I_{opt} , V_{opt}) situé sur la courbe courant-tension du module [40].

$$P_{\text{max}} = V_{\text{opt}} \times I_{\text{opt}} \quad (\text{II.9})$$

e) *Le rendement photovoltaïque* [41] :

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{\text{in}}} \quad (\text{II.10})$$

P_{in} : puissance lumineuse incidente (W).

P_{\max} : puissance maximale délivrée (W).

f) *Facteur de forme (FF)* :

C'est le rapport de la puissance maximale pouvant être fournie à la charge en fonction de (I_{cc} , V_{co}) [41].

$$\text{FF} = \frac{P_{\max}}{I_{\text{cc}} \times V_{\text{co}}} = \frac{I_{\text{mpp}} \times V_{\text{mpp}}}{I_{\text{cc}} \times V_{\text{co}}} \quad (\text{II.11})$$

Pour les cellules avec un rendement moyen, le facteur de remplissage (FF) varie généralement entre 0,7 et 0,85.

Si la température s'élève, le facteur de forme FF tend à diminuer.

II.4.1 Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque :

La Figure (II.6) illustre la configuration équivalente d'une cellule photovoltaïque utilisée efficacement.

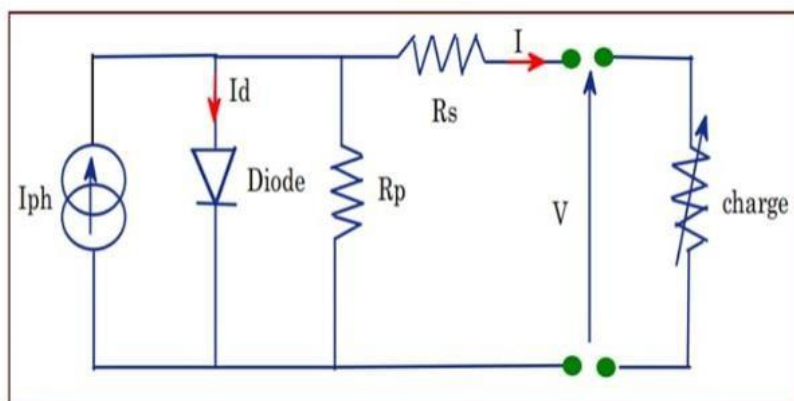


Figure (II.9) : Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque [41].

- La résistance série est la résistance interne de la cellule ; elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles.
- La résistance shunt est due à un courant de fuite au niveau de la jonction, elle dépend de la façon dont celle-ci a été réalisée.

II.4.2 Matériau de construction des cellules :

Le silicium est l'un des semi-conducteurs les plus importants et exploitables dans la production de cellules solaires (photovoltaïques). En d'autres termes, qu'il soit présent sous forme composée ou unitaire. Le silicium, qui représente approximativement 28% de la croûte terrestre sous forme de composés (silicates, silice), est le second élément le plus abondant dans la nature après l'oxygène. Il constitue donc une ressource pratiquement inépuisable [41].

II.5 Types de cellule photovoltaïque :

On distingue plusieurs sortes de cellules solaires ou photovoltaïques. Chaque catégorie de cellule possède un rendement et un prix qui lui sont spécifiques. Toutefois, peu importe le genre, l'efficacité demeure relativement faible : de 8 à 23 % de l'énergie captée par les cellules [42]. Actuellement, il existe trois principaux types de cellules comme suit :

- ***Cellules mono- cristallines :***

Ce type de cellule photovoltaïque, fabriqué à partir d'une fine tranche de silicium monocristallin, est l'un des plus utilisés. Elle permet la fabrication de panneaux solaires capables de produire de l'électricité pour alimenter une habitation ou être injectée dans le réseau public [43].



Figure (II.10) : Cellule en silicium monocristallin [42].

Avantage :

-rendement (très satisfaisant (17,2%).

Inconvénients :

-Coût onéreux.

-Faible performance en condition de faible luminosité.

- ***Cellules poly-cristallines :***

Lorsque le silicium refroidit, de nombreux cristaux se créent dans la lingotière. La cellule photovoltaïque présente une teinte bleue non uniforme, les motifs discernés sont le fruit de divers cristaux [42]. Les cellules poly-cristallines se caractérisent par :

-Réduction des coûts de fabrication.

-Demande moins d'énergie.

-Efficacité de 13% en conditions normales et pouvant atteindre 20% en milieu de laboratoire.

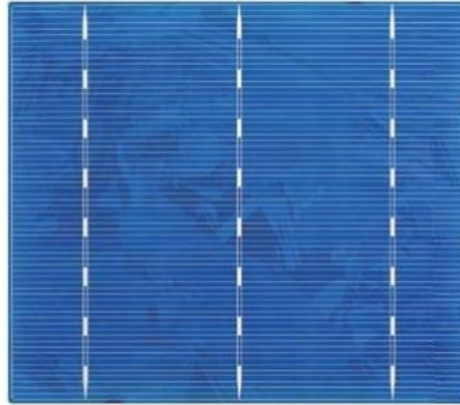


Figure (II.11) : Cellule en silicium monocristallin [42].

- ***Cellules amorphes :***

Ils présentent un faible rendement (5% à 8%, 13% en laboratoire), néanmoins exigent uniquement de très minces couches de silicium et leur coût est modeste.

On les retrouve fréquemment dans de petits produits grand public tels que les calculatrices solaires et les montres [42].

Le bénéfice de ce second type est qu'il opère efficacement dans des conditions d'éclairage défavorables (y compris en cas de temps nuageux ou à l'intérieur).



Figure (II.12) : Cellule en silicium amorphe [42].

II.6 Module photovoltaïque :

Un module photovoltaïque, aussi appelé panneau solaire photovoltaïque est un équipement qui transforme la lumière solaire en énergie électrique. Il est constitué de diverses cellules photovoltaïques connectées, généralement fabriquées à partir de silicium, qui est un matériau semi-conducteur.

Toutefois, il est crucial d'adopter certaines mesures de précaution, car la présence de cellules moins performantes ou l'obstruction d'une ou plusieurs cellules (causée par l'ombre de la poussière, etc.) peut causer des dommages irréversibles aux cellules [44].

Composants principaux :

- Cellules photovoltaïques : les éléments de base qui produisent l'électricité.
- Cadre : souvent en aluminium, il protège les cellules
- Verre de protection : protège contre les intempéries
- Boîte de jonction : permet de connecter le module au reste du système électrique
- Film de protection (encapsulation) : protège les cellules contre l'humidité et les chocs.

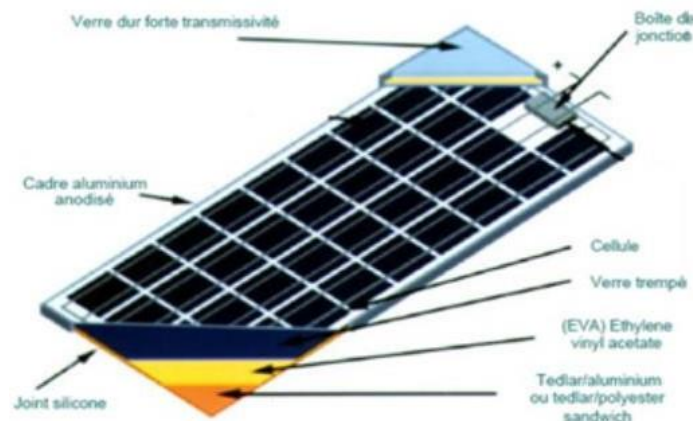


Figure (II.13) : Vue en coupe d'un module PV [44].

➤ Association du module photovoltaïque :

L'association des modules photovoltaïques consiste à connecter plusieurs panneaux solaires entre eux afin d'augmenter la puissance totale du système. Selon les besoins en

tension ou en courant, les modules peuvent être connectés en série, en parallèle ou en série-parallèle.

Cette association permet d'adapter la production d'énergie à l'équipement utilisé (onduleur, batterie, etc.). Elle doit être réalisée avec soin pour éviter les pertes d'énergie. L'uniformité des modules et une bonne protection électrique sont essentielles pour garantir un fonctionnement optimal.

❖ *Association en série :*

Par association en série, le même courant traverse toutes les cellules et la tension résultante est l'addition des tensions produites par chaque cellule [45]. Comme indiqué sur la figure (II.14) :

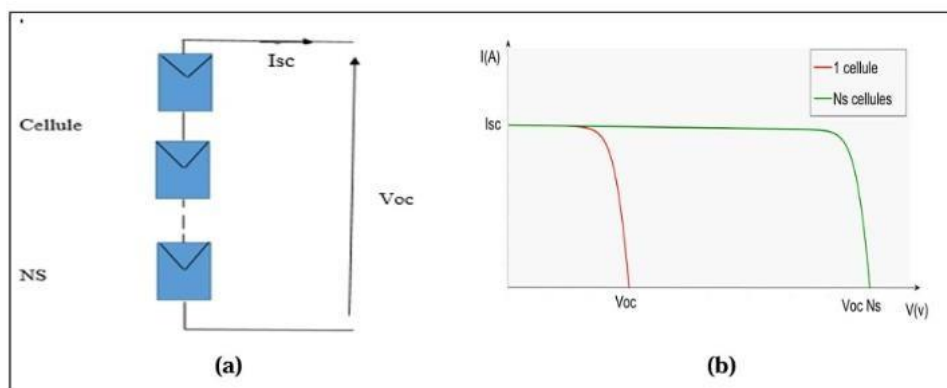


Figure (II.14) : (a) Schéma d'un module formé d'un groupement des cellules en série

(b) Caractéristique d'un groupement des cellules en série. [46]

❖ *Association en parallèle :*

Par association en parallèle, les cellules sont exposées à la même tension et le courant qui en résulte est la somme des courants produits par chaque cellule [45]. Comme indiqué sur la figure (II.15) :

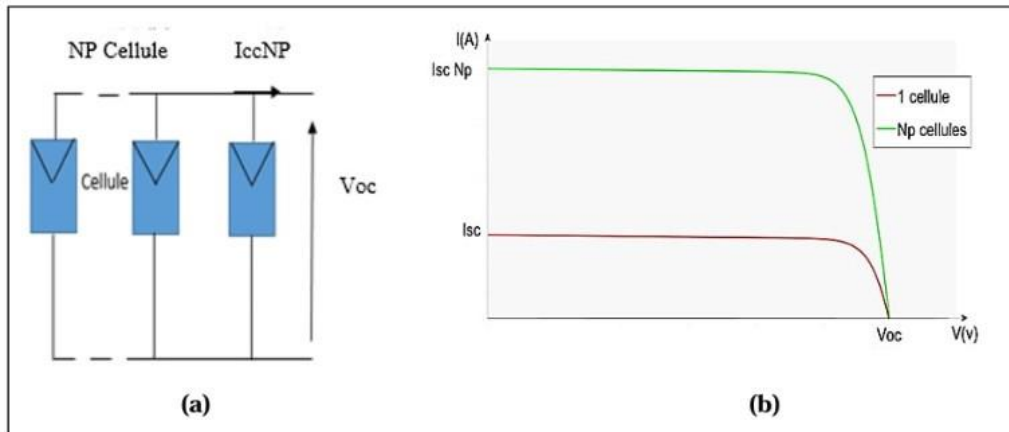


Figure (II.15) : (a) Schéma d'un module formé d'un groupement des cellules en parallèle [46]

(b) Caractéristique d'un groupement des cellules en parallèle.

❖ *Association mixte :*

Pour obtenir une haute résistance, il est indispensable de lier plusieurs cellules en série et en parallèle, car une seule cellule ne peut pas générer un flux électrique à la dimension nécessaire. Le concept de générateur photoélectrique (GPV) est défini par cette interconnexion d'unités [47].

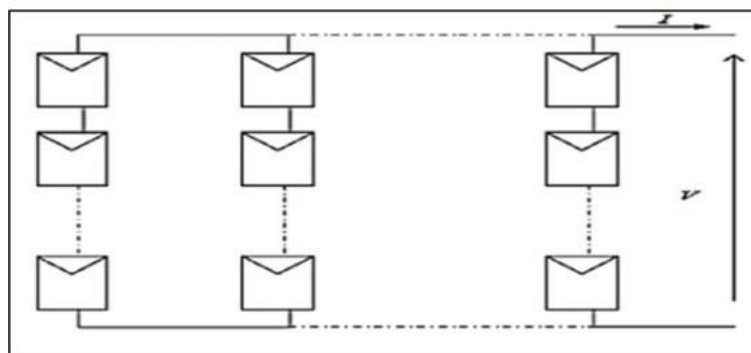


Figure (II.16) : Schéma d'un module formé d'un groupement des cellules en série/parallèle [47].

II.7 Effet d'éclairement et de température sur les panneaux photovoltaïques :

II.7.1 Effet d'éclairement :

Les figures (II.17) et (II.18) montrent un exemple des courbes pour différents niveaux de rayonnement, incident et à température constante :

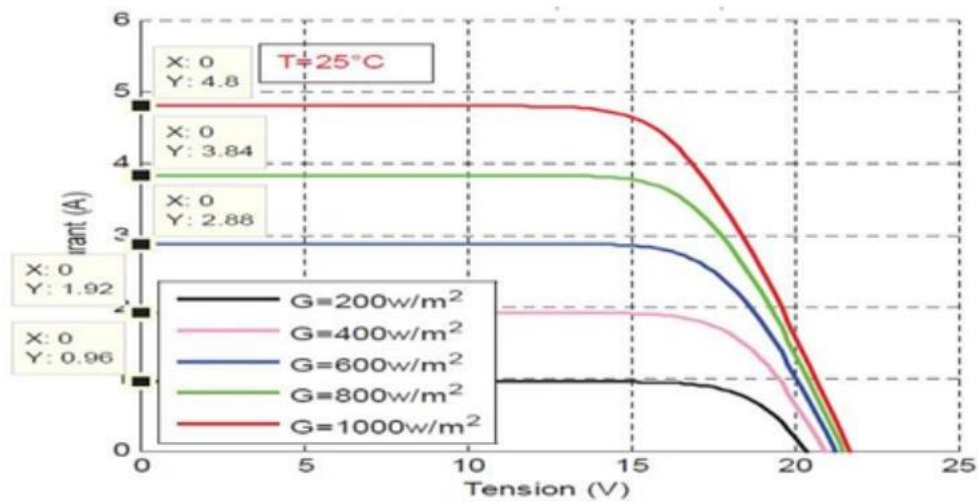


Figure (II.17) : La caractéristique $I=f(v)$ en fonction de l'éclairement [48]

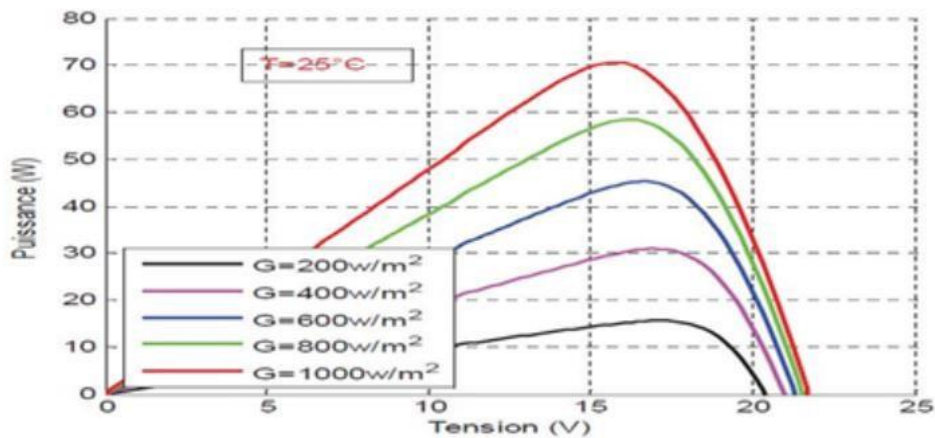


Figure (II.18) : La caractéristique $P=f(v)$ en fonction de l'éclairement [48].

Concernant la figure (II.14), on observe que pour un éclairement de $G=1000 \text{ w/m}^2$, le courant I_{sc} est de 4.8A. Pour $G=800 \text{ w/m}^2$, le courant $I_{sc}=3.84 \text{ A}$ montre une variation significative. En effet, lorsque l'intensité lumineuse s'accroît, le courant de court-circuit augmente, mais la tension quant à elle connaît une légère fluctuation.

II.7.2 Effet de température :

Nous exposons ci-après les caractéristiques I-V et P-V (figures II.16 et II.17) d'un panneau photovoltaïque, pour un niveau d'ensoleillement G spécifique et diverses températures :

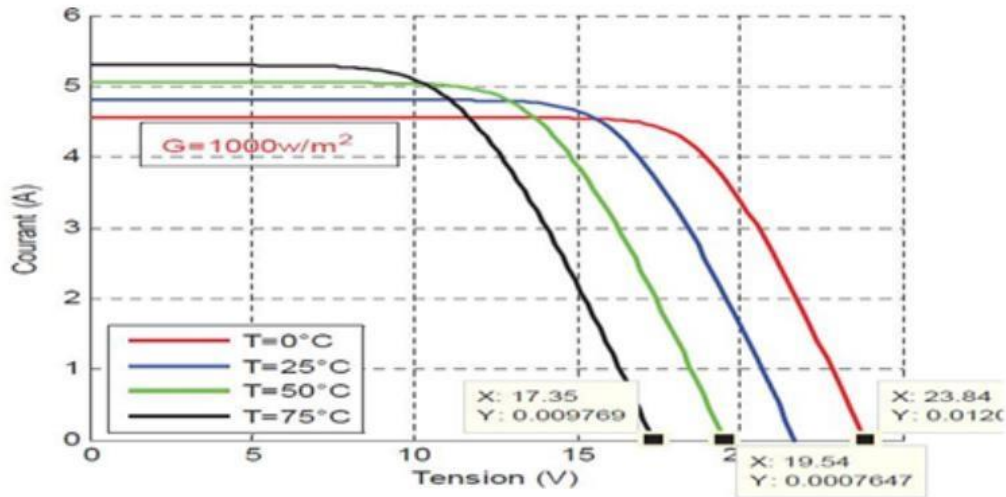


Figure (II.19) : La caractéristique de $I=f(V)$ en fonction de température [48].

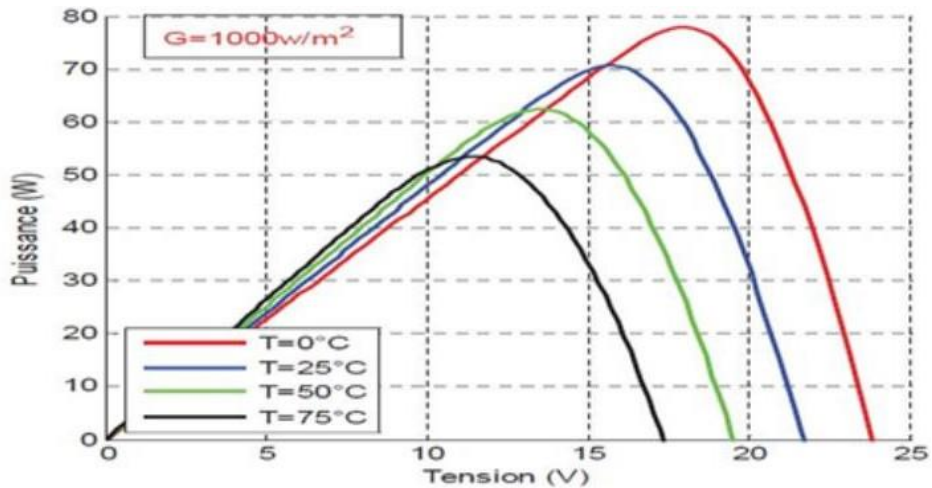


Figure (II.20) : La caractéristique de $P= f(V)$ en fonction de température [48].

Concernant la figure (II.19), on peut observer que le courant varie avec la température, car celui-ci s'intensifie légèrement lorsque la température monte. De plus, il est évident que la tension à circuit ouvert diminue avec l'augmentation de la température.

Lorsque la température s'élève, la tension à circuit ouvert se réduit. En revanche, la puissance maximale du générateur diminue à mesure que la température s'élève, comme le montre la figure (II.20).

II.8 Raccordement d'un système photovoltaïque :

Les systèmes photovoltaïques les plus fréquemment employés se déclinent en trois catégories : autonome, connecté au réseau hybride, Pompage [49].

II.8.1 Système photovoltaïque autonome :

Un système photovoltaïque autonome est un dispositif qui transforme l'énergie solaire (lumière) en énergie électrique (électricité), tout en étant indépendant du réseau électrique. Ce système est principalement utilisé dans les zones éloignées où le raccordement à l'électricité serait extrêmement onéreux pour la maison ou le bâtiment que l'on souhaite électrifier [50].

Le système photovoltaïque autonome peut être segmenté en deux parties :

- Un **système photovoltaïque autonome au fil du soleil** : fournit directement l'énergie produite par les panneaux solaires à la charge (appareils à alimenter). Il fonctionne uniquement en présence d'un ensoleillement suffisant. Si l'éclairement est assez fort, les équipements peuvent fonctionner ; sinon, le système s'arrête. Il n'y a pas de stockage d'énergie, l'utilisation est instantanée.
- Un **système photovoltaïque autonome avec stockage** intègre des batteries pour stocker l'énergie produite. Cela permet d'alimenter la charge la nuit où en cas de faible ensoleillement, assurant un fonctionnement plus continu et fiable.

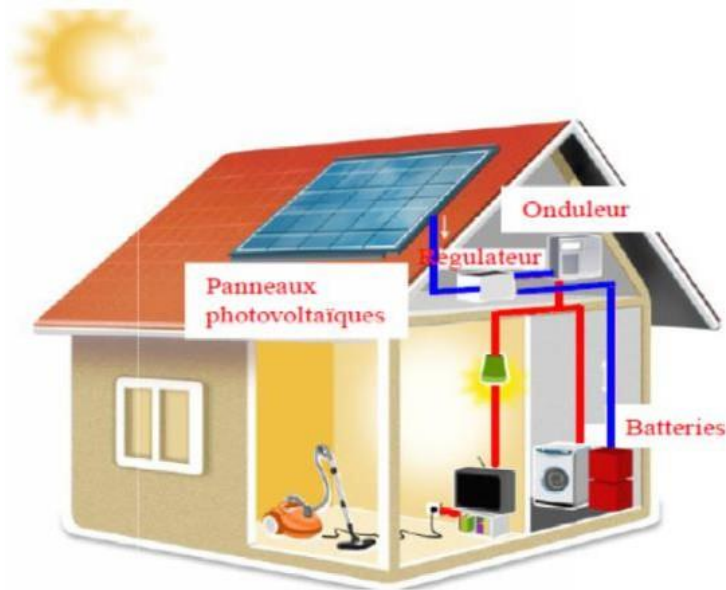


Figure (II.21) : Système photovoltaïque autonome [18].

Le raccordement d'un système photovoltaïque autonome signifie connecter tous les éléments du système solaire entre eux pour qu'il fonctionne de manière indépendante, sans être relié au réseau électrique par les étapes suivantes :

1. **Installation des panneaux solaires :**

- Fixation des panneaux sur une structure orientée vers le soleil (généralement plein sud).
- Connexion des panneaux entre eux (en série, en parallèle ou mixte selon la tension et le courant souhaités).

2. **Connexion au régulateur de charge :**

- Les câbles des panneaux sont reliés au **régulateur de charge**.

Ce régulateur protège les batteries contre la surcharge ou la décharge excessive.

3. **Branchement des batteries :**

- Les batteries sont connectées au régulateur.
- Elles stockent l'énergie produite pendant la journée pour l'utiliser plus tard (nuit ou faible ensoleillement)

4. **Connexion de l'onduleur (si besoin en courant alternatif) :**

- Si les appareils à alimenter fonctionnent en **courant alternatif (230V)**, un **onduleur** est connecté aux batteries.

- L'onduleur convertit le courant continu (DC) des batteries en courant alternatif (AC).

5. **Raccordement des charges (appareils à alimenter) :**

- Les équipements (lumières, télé, pompe, etc.) sont branchés soit directement en courant continu, soit via l'onduleur pour le courant alternatif.

6. **Vérifications et mise en service :**

- Contrôle des connexions, des tensions, polarités, et bon fonctionnement général.

II.8.2 Système photovoltaïque raccordé au réseau :

Un système photovoltaïque raccordé au réseau est une installation solaire qui fonctionne en complément du réseau électrique. Les panneaux solaires produisent de l'électricité qui peut être utilisée directement pour les besoins du site ou envoyée vers le réseau national. En cas de surplus, l'énergie est vendue ou injectée dans le réseau, et en cas de besoin (nuits, mauvais temps), l'électricité est tirée du réseau.

Ce type de système permet de réduire la facture d'électricité sans nécessiter de batteries de stockage.

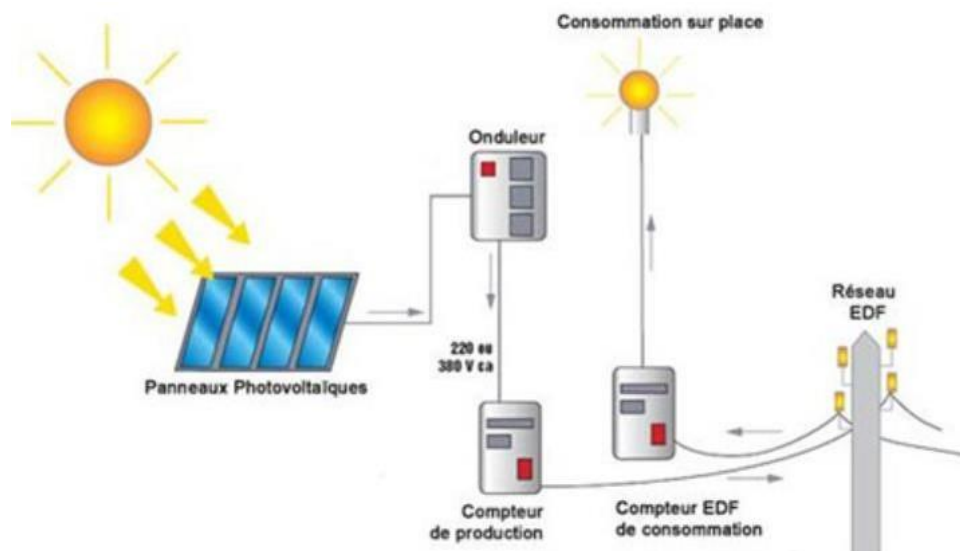


Figure (II.22) : Système photovoltaïque raccordé au réseau [51].

Le raccordement d'un système photovoltaïque connecté au réseau consiste à intégrer l'installation solaire au réseau électrique public afin de permettre l'autoconsommation, la vente d'électricité, ou les deux. Voici les principales phases de raccordement :

1. **Installation des panneaux solaires :**

- Les panneaux sont installés sur le toit ou au sol, orientés pour capter un maximum de lumière solaire.
- Connexion des panneaux entre eux (série/parallèle) selon la configuration souhaitée.

2. **Branchement à l'onduleur :**

- Les panneaux produisent du courant continu (DC), qui est envoyé vers un **onduleur**.
- L'onduleur convertit ce courant continu en courant alternatif (AC), compatible avec le réseau et les équipements domestiques.

3. **Connexion au tableau électrique :**

- L'onduleur est raccordé au **tableau électrique** de la maison ou du bâtiment.
- L'énergie produite est utilisée directement sur place. En cas de surplus, elle peut être injectée dans le réseau public.

4. **Installation d'un compteur de production (et parfois un compteur bidirectionnel) :**

- Un **compteur de production** mesure l'énergie générée par les panneaux.
- Un **compteur bidirectionnel** (ou intelligent) peut être installé pour mesurer l'énergie injectée et celle prélevée du réseau (cas de vente ou autoconsommation avec revente de surplus).

5. **Raccordement au réseau électrique public :**

- Le système est ensuite connecté au réseau via le tableau principal.
- Une demande d'autorisation ou de convention avec le fournisseur d'électricité est souvent nécessaire avant le raccordement final.

6. **Mise en service et vérifications :**

- L'installation est testée pour vérifier la conformité électrique, la sécurité et le bon fonctionnement du système.

II.8.3 Le système photovoltaïque hybride :

Un système photovoltaïque hybride combine l'énergie solaire avec une ou plusieurs autres sources d'énergie (comme un groupe électrogène, une éolienne ou le réseau électrique). Il permet de garantir une alimentation continue, même lorsque l'ensoleillement est insuffisant. Ce type de système offre plus de fiabilité et d'autonomie, surtout dans les zones où le soleil n'est pas toujours disponible.

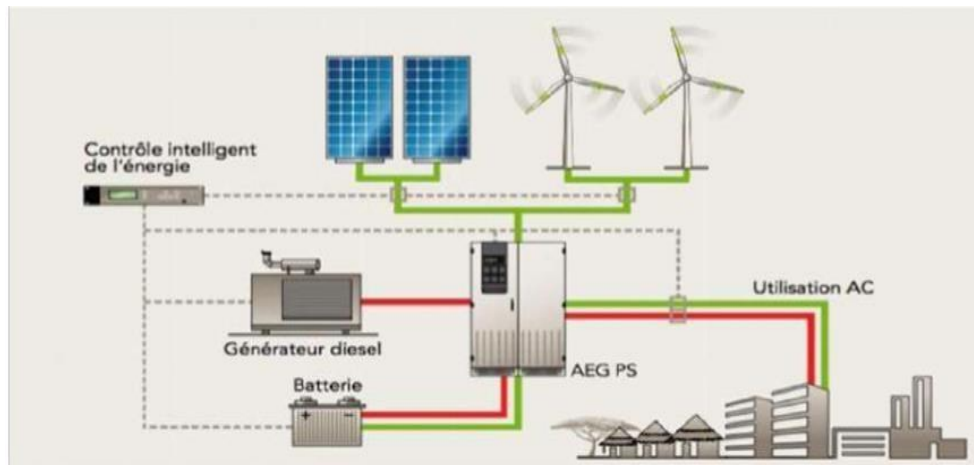


Figure (II.23) : Système photovoltaïque hybride [38].

Le *raccordement d'un système photovoltaïque hybride* suit plusieurs étapes pour intégrer à la fois l'énergie solaire et une autre source d'énergie complémentaire, comme un générateur ou le réseau électrique. Voici les principales étapes de raccordement :

1. *Installation des panneaux solaires :*

- Les panneaux photovoltaïques sont installés sur une structure adéquate (orientée vers le soleil) pour maximiser la production d'énergie. Ils sont ensuite câblés pour produire du courant continu (DC).

2. *Raccordement au régulateur de charge :*

- Les panneaux solaires sont connectés au **régulateur de charge** qui contrôle l'énergie envoyée vers les batteries, prévenant les risques de surcharge ou de décharge profonde.

3. *Installation des batteries :*

- Des **batteries** sont connectées au régulateur de charge pour stocker l'énergie excédentaire produite pendant la journée, afin de l'utiliser en cas de faible ensoleillement ou la nuit.

4. **Connexion de la source d'énergie complémentaire (générateur ou réseau) :**
 - Une source d'énergie complémentaire, comme un **générateur diesel**, une **éolienne** ou le **réseau électrique**, est raccordée au système pour fournir de l'énergie lorsque la production solaire est insuffisante. Cette source complémentaire est reliée à un contrôleur ou un onduleur qui gère l'intégration de cette source au système hybride.
5. **Branchement de l'onduleur hybride :**
 - Un **onduleur hybride** est utilisé pour convertir l'énergie en courant alternatif (AC), compatible avec les équipements électroménagers. Il gère aussi bien l'énergie solaire que celle provenant de la source complémentaire. Il peut être doté d'un contrôleur pour optimiser l'utilisation de l'énergie.
6. **Raccordement des charges (appareils à alimenter)**
 - Les appareils à alimenter (luminaires, appareils électroménagers, etc.) sont connectés au système. Ils recevront de l'énergie soit du système solaire, soit du générateur ou du réseau, selon la gestion de l'énergie.
7. **Système de gestion de l'énergie (EMS) :**
 - Un **système de gestion de l'énergie** peut être intégré pour optimiser l'utilisation des différentes sources d'énergie. Il priorise l'utilisation de l'énergie solaire, et active le générateur ou le réseau uniquement lorsque nécessaire.
8. **Vérifications et mise en service :**
 - Avant de mettre le système en fonctionnement, toutes les connexions doivent être vérifiées pour s'assurer que le système est bien monté et fonctionnera efficacement. La mise en service permet de tester l'intégration et l'optimisation des différentes sources d'énergie.

II.8.4 Système photovoltaïque de pompage d'eau :

Un système photovoltaïque de pompage d'eau utilise l'énergie solaire pour alimenter une pompe qui extrait de l'eau (d'un puits, d'un forage, d'une rivière, etc.). L'électricité produite par les panneaux solaires est directement utilisée pour faire fonctionner la pompe, généralement pendant la journée lorsque le soleil brille. Ce type de système est particulièrement utile pour l'irrigation agricole, l'alimentation en eau potable ou l'abreuvement du bétail, surtout dans les zones isolées sans accès au réseau électrique.

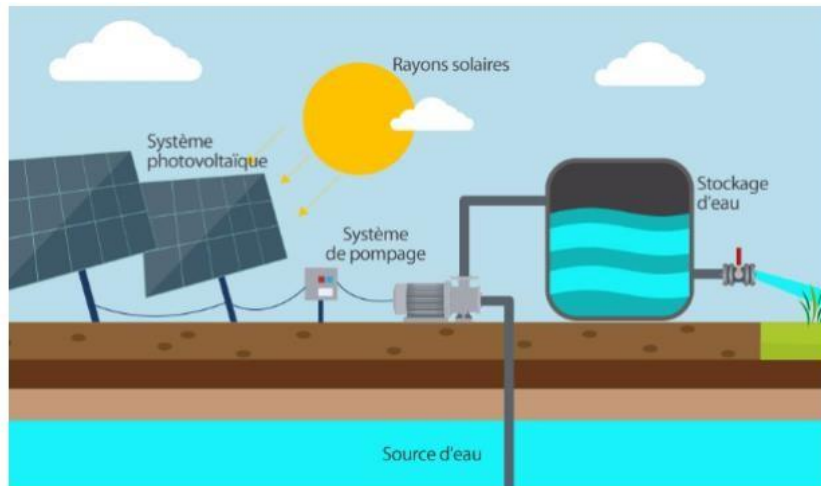


Figure (II.24) : Système photovoltaïque pompage [52].

Le *raccordement d'un système photovoltaïque de pompage d'eau* consiste à connecter les panneaux solaires à une pompe électrique pour alimenter directement le pompage grâce à l'énergie solaire. Parmi les étapes suivantes :

1. **Installation des panneaux photovoltaïques :**

- Les panneaux solaires sont installés sur une structure fixe ou orientable, bien exposée au soleil.
- Les panneaux sont câblés entre eux (en série ou en parallèle) pour fournir la tension et la puissance nécessaires.

2. **Connexion au contrôleur ou variateur de pompe :**

- Le courant produit par les panneaux est relié à un **contrôleur de pompe** ou un **variateur de fréquence**.

3. **Branchement de la pompe (immergée ou de surface) :**

- La **pompe** est connectée au contrôleur. Elle peut être placée dans un puits, un forage, un bassin ou une rivière.
- Le type de pompe (DC ou AC) dépend du système choisi.

4. **Installation du système de distribution d'eau :**

- Des tuyaux et canalisations sont installés pour acheminer l'eau vers un réservoir, un champ ou un point d'utilisation.
- Un **réservoir** peut être utilisé pour stocker l'eau pompée pendant la journée.

5. **Vérification et mise en service :**

- Contrôle des connexions électriques, de l'orientation des panneaux, et test du démarrage de la pompe.

- Une fois tout vérifié, le système peut fonctionner automatiquement avec l'ensoleillement.

II.9 Les éléments de système photovoltaïque :

Un système photovoltaïque est un ensemble de composants permettant de transformer l'énergie solaire en électricité. Il est utilisé dans des maisons, des entreprises ou même des installations isolées. Pour fonctionner efficacement, ce système repose sur plusieurs éléments essentiels.

Les éléments d'un système solaire photovoltaïque sont indiqués dans la Figure (II.24) et énoncés ci-dessous :

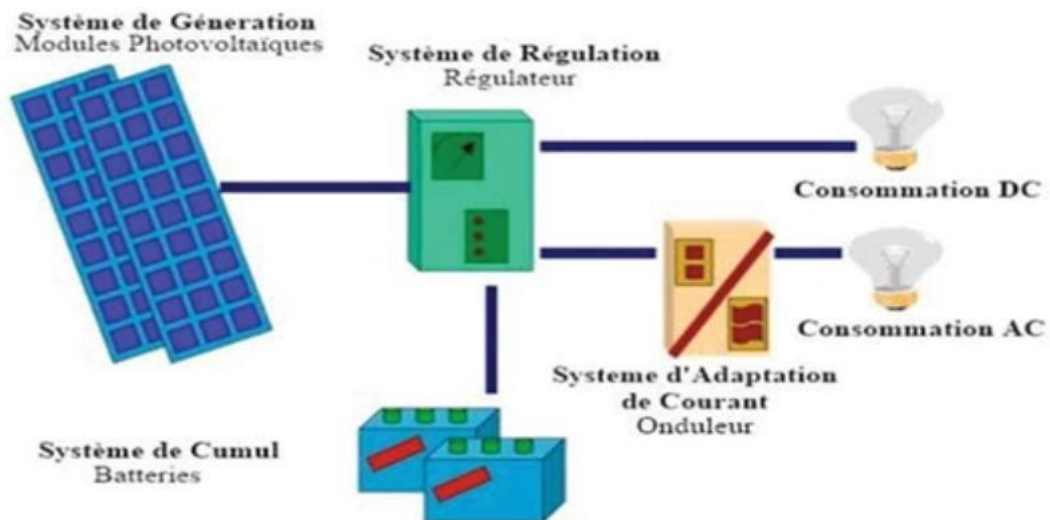


Figure (II.25) : Eléments d'un système solaire photovoltaïque [53].

II.9.1 Le Générateur photovoltaïque :

C'est le champ photovoltaïque :



Figure (II.26) : Champ photovoltaïque [40].

Le panneau solaire est constitué de modules photovoltaïques reliés en série et/ou en parallèle dans le but de générer l'énergie nécessaire. Ces panneaux sont fixés sur une structure métallique qui est conçue pour soutenir le champ solaire à une orientation et un angle d'inclinaison spécifiques [54].

II.9.2 La batterie :

Permet de conserver l'énergie générée mais pas directement exploitée par les panneaux solaires, pour une utilisation durant les périodes sans soleil. Le stockage s'effectue en utilisant de l'électricité, généralement dans des batteries à base de plomb-acide. Elles se composent de cellules disposées en série, comprenant deux électrodes de plomb immergées dans un électrolyte. Chaque cellule produit approximativement 2 volts, en fonction de son niveau de charge. En photovoltaïque, les tensions standards fréquemment rencontrées sont de 12 V ou 24 V [10].



Figure (II.27) : La batterie [10].

II.9.2.1 Les types de batterie :

Tableau (II.1) : Une comparaison des avantages et des inconvénients de chaque type de batterie.

Le Type	Avantage	Inconvénient
<i>Batterie à décharge lente</i>	-Durée de vie (5 à 10 ans - Prix correcte - Supportent bien les surchauffes, inertie thermique élevée - Nombreux charge de cycle (entre 500 et 1000 cycles) (entre 500 et 1200 cycles)	-Recharger régulièrement ces batteries en eau distillée - Lourde (poids) - Sensible au froid
<i>Batterie Gel</i>	Durée de vie (8 à 12 ans) - Pas d'entretien - Bonne tolérance aux températures élevées - Nombreux charge de cycle	-Chère - Lourde (poids) -Peu adaptée aux courants de charge/décharge élevés
<i>Batterie Lithium-ion</i>	Durée de vie (30 ans) - Légère - Pas d'entretien - Faible autodécharge - Bonne tolérance à la température basse est élevée. - Charge de cycle très élevé (entre 2500 et 5000 cycles)	Coût plus élevé, nécessite une bonne gestion électronique

II.9.2.2 Le principe de fonctionnement :

La batterie fonctionne en cycle de charge (accumulation d'énergie) et de décharge (fourniture d'énergie), selon la présence du soleil. Deux situations critiques peuvent survenir :

- **Surcharge** : la batterie est pleine et, si la charge continue, cela provoque une décomposition de l'eau (gazéification).
- **Sur décharge** : une décharge excessive détériore la batterie.

C'est le régulateur de charge qui protège la batterie en évitant ces deux extrêmes.

II.9.3 Le régulateur de charge :

Le régulateur de charge a pour rôle principal de surveiller l'état de la batterie et de la protéger. Il agit selon plusieurs seuils pour éviter la surcharge, la décharge profonde, les surchauffes, les courts-circuits, etc.

Les modèles récents sont plus avancés, avec des fonctions sophistiquées pour une gestion optimisée du système.

II.9.3.1 Différents types de régulateur :

- *Régulateur parallèle :*

Protège uniquement contre la surcharge. Il est adapté aux petites installations photovoltaïques.

- *Régulateur série :*

Protège à la fois contre la surcharge et la décharge. Il peut utiliser un interrupteur électromécanique ou statique, et inclure des fonctions supplémentaires (alarme, coupure nocturne, etc.). La Figure(II.25) présente l'image d'un régulateur série.



Figure (II.28) : Régulateur série [53].

II.9.3.2 Fonctionnement :

Prendre de l'information sur l'état de charge du système et la comparer avec les valeurs maximales et minimales admissibles pour que la batterie n'endure pas de surcharges ou de décharges extrêmes.

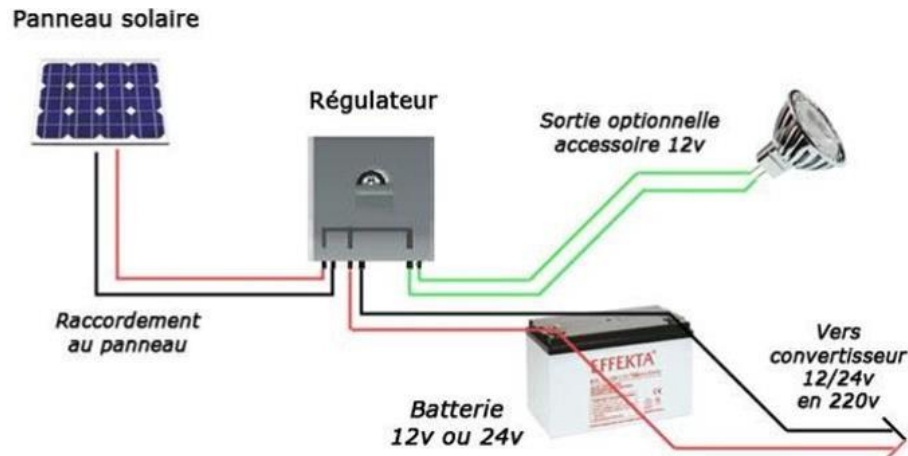


Figure (II.29) : Schéma de position de régulateur Schéma de position de régulateur [10].

II.9.4 L'onduleur :

L'onduleur est un appareil électronique dont le rôle est de convertir le courant continu (DC) provenant des panneaux solaires ou des batteries en courant alternatif (AC).

II.9.4.1 Les types d'onduleurs DC/AC :

- Onduleur à onde carrée : Idéal pour les applications simples telles que la télévision et l'éclairage, ainsi que pour les charges résistives en général. Ils coûtent moins cher.
- Onduleur à onde sinusoïdale : Adapté à toutes sortes d'applications, notamment pour les moteurs, ils ont un coût supérieur [53].

II.9.4.2 Le principe de fonctionnement :

La création d'une sinusoïde à partir d'une tension continue se fait grâce à la modulation de largeur d'impulsions (PWM), qui génère des impulsions de tension dont la largeur varie pour former une onde alternative.

L'onduleur comprend des composants actifs (interrupteurs électroniques) et doit supporter une large plage de tension en entrée (-10% à +30%) en raison des variations de la tension de la batterie selon les conditions de fonctionnement.

Les onduleurs peuvent être en monophasé ou en triphasé, avec des valeurs différentes pour la tension d'entrée et avec une puissance qui peut aller jusqu'à des mégawatts.

II.9.5 Les câbles :

Les câbles jouent un rôle essentiel : ils assurent le transport sécurisé de l'énergie électrique entre les différents composants du système (panneaux, régulateur, onduleur, batteries, réseau). Un mauvais choix ou une mauvaise installation des câbles peut entraîner des pertes d'énergie, des surchauffes, voire des risques d'incendie.

II.9.5.1 Rôle des câbles dans le système :

- *Transport de courant continu (DC)* entre les panneaux, le régulateur et la batterie.
- *Transport de courant alternatif (AC)* entre l'onduleur et le tableau électrique ou le réseau.
- *Assurent la sécurité* et la continuité du circuit électrique.
- *Minimisent les pertes* par effet Joule (échauffement).



Figure (II.30) : Exemple de câblage [55].

II.10 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque :**II.10.1 Les avantages de l'énergie photovoltaïque :**

- L'énergie photovoltaïque est une source d'énergie propre, non polluante, silencieuse et qui n'impacte pas l'environnement.
- Les systèmes photovoltaïques présentent une fiabilité remarquable.
- L'électricité photovoltaïque est produite au plus près de son lieu de consommation, de manière décentralisée, directement chez l'utilisateur.
- Ils peuvent être installés sur différents types de toitures, en zones urbaines ou rurales.
- Les panneaux photovoltaïques ont une longévité considérable. Quelques fabricants garantissent la durabilité des panneaux solaires pour une période de 25 ans [36].

II.10.2 Les inconvénients de l'énergie photovoltaïque :

- La production d'énergie solaire dépend de l'ensoleillement, qui varie selon les régions. Dans les zones peu ensoleillées, elle est souvent insuffisante et trop irrégulière pour couvrir tous les besoins d'un logement [55].
- Dans les systèmes photovoltaïques, la durée de vie moyenne d'un onduleur est de 10 ans. Au-delà de cette période, il est indispensable de le substituer ou de le réparer, ce qui entraîne des dépenses additionnelles [55].
- L'efficacité des cellules photovoltaïques se dégrade au fil du temps, et leur longévité ne dépasse généralement pas 30 ans.
- Les panneaux affichent seulement un rendement d'environ 23,4%. Sa production est conditionnée par les conditions climatiques et n'est pas opérationnelle 24/24.

II.11 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous concluons que l'effet photovoltaïque permet de produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire en libérant des électrons grâce à la lumière. Le silicium dans les cellules photovoltaïques rend ce processus possible. Assemblées en panneaux solaires, ces cellules permettent une utilisation quotidienne. Mais en raison de leur faible rendement, l'énergie solaire n'est pas encore viable comme source principale. Elle est surtout efficace pour des usages spécifiques tels que les satellites ou les appareils à faible consommation. Si les coûts baissent et l'efficacité augmente, le photovoltaïque pourrait devenir une alternative propre et rentable. Ce constat nous pousse à interroger le rôle futur des énergies renouvelables.

Chapitre III

Dimensionnement d'une installation PV

(autonome, réseau)

Chapitre III Dimensionnement d'une installation PV (autonome, réseau)

III.1 Introduction :

D'un système photovoltaïque constitue une étape fondamentale dans la conception d'une installation solaire efficace, fiable et économiquement rentable. Il ne s'agit pas uniquement de l'installation de panneaux solaires, mais d'un processus technique rigoureux prenant en compte les besoins énergétiques spécifiques, les caractéristiques du site, ainsi que les conditions d'exploitation. Ce chapitre a pour objectif de fournir les bases théoriques et pratiques nécessaires à la conception d'un système photovoltaïque, qu'il soit autonome ou raccordé au réseau. Il introduit également le logiciel PVSYST, outil de simulation largement reconnu pour l'analyse, la modélisation et l'optimisation des systèmes solaires. Les différentes étapes de dimensionnement seront abordées, allant de l'estimation des besoins en énergie jusqu'au choix des composants du système (modules photovoltaïques, onduleur, régulateur de charge, batteries), en passant par le calcul de la production attendue. Une étude économique viendra enfin compléter cette analyse afin d'évaluer la viabilité et la rentabilité du projet envisagé.

III.2 Orientation du module :

Pour maximiser la capture quotidienne d'énergie, il est crucial que les modules soient dirigés vers le sud, peu importe la saison. Pour ce faire, on peut déterminer le sud magnétique en utilisant une boussole [57].

III.2.1 Choix de repères :

Pour simuler la position apparente du soleil, on considère un repère cartésien (OXYZ) et repère le soleil en un instant (t), un jour (N) de l'année et un lieu de latitude (φ) de la surface de la terre. Ce repère est défini par :

Origine : C'est le point de captation de rayonnement solaire.

L'axe (OX) : est la direction du sud, l'axe (OY) est la direction de l'Est. En fin l'axe (OZ) est la verticale du lieu.

Le plan (XOY) est le plan horizontal et les plans (OYOZ, XOZ) sont des plans verticaux [58].

III.2.3 Trajectoire du soleil :

Pour maximiser la production d'électricité, un module photovoltaïque doit être installé de manière à être perpendiculaire aux rayons solaires. Il est généralement très difficile d'y parvenir car la position du soleil change constamment selon le jour et la saison. Par conséquent, il est impératif de définir le parcours apparent du soleil qui est influencé par l'altitude et la longitude de cet endroit sur la surface terrestre [57].

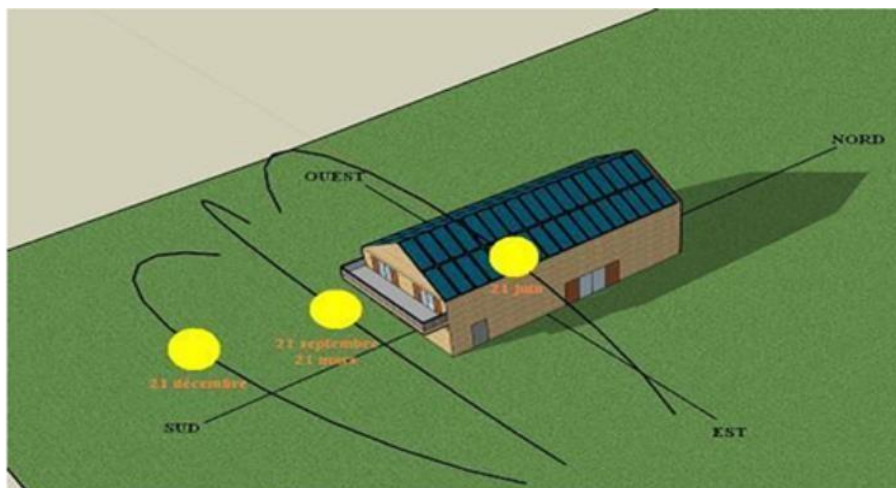


Figure (III.1) : Position de la terre par rapport au soleil en différents mois de l'année [59]

III.2.4 Coordonnée du soleil :

Pour un observateur à l'origine des axes (point O), le soleil trace une trajectoire circulaire dans le ciel au rythme de 15 degrés par heure tout au long de la journée. On peut localiser le soleil à tout moment de la journée et de l'année grâce à ses coordonnées cartésiennes [60] (X, Y, Z), qui sont fournies par les formules suivantes :

$$\begin{aligned} X &= D_{TS} \cos(h) \cos(a) \\ Y &= D_{TS} \cos(h) \sin(a) \\ Z &= D_{TS} \sin(h) \end{aligned} \tag{III.1}$$

Avec :

D_{TS} : La distance terre-soleil.

h : la hauteur de soleil.

a : l'azimut du soleil.

Chapitre III Dimensionnement d'une installation PV (autonome, réseau)

III.2.5 Orientation du capteur :

Le dispositif est positionné en O, l'origine des axes, pour capter la lumière solaire. Il sera orienté vers le Sud (Figure III.2) s'il se situe dans l'hémisphère Nord ou vers le Nord s'il est placé dans l'hémisphère Sud [58].

La localisation du capteur est déterminée par les cosinus directeurs de la normale ($N \rightarrow$) à O, de manière suivante :

$$N \rightarrow \begin{cases} \cos \gamma \cos \alpha \\ \cos \gamma \sin \alpha \end{cases} \quad (\text{III.2})$$

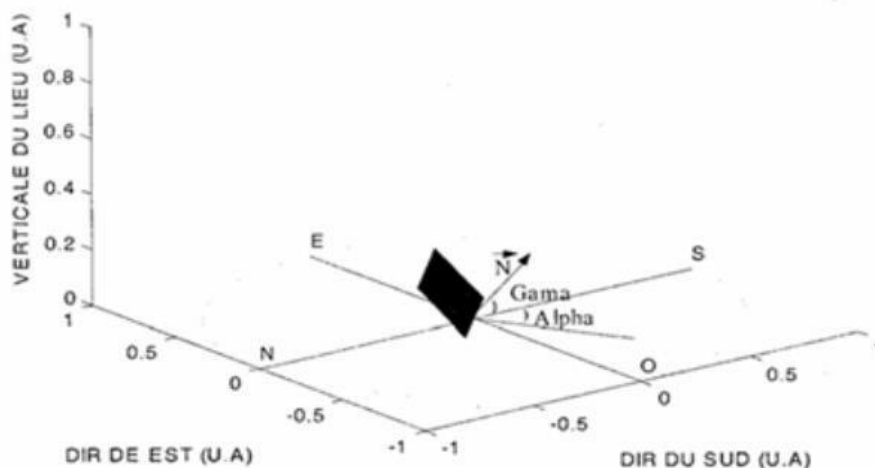


Figure (III.2) : Orientation du capteur [58].

Avec :

1. UA = unité astronomique km

γ : Angle entre la normale $N \rightarrow$ et sa projection sur le plan horizontal.

α : Angle entre la projection de $N \rightarrow$ sur le plan horizontal et la direction Sud.

β : Angle entre le capteur et sa projection sur le plan horizontale = $90^\circ - \gamma$

L'orientation d'un panneau est déterminée par deux angles qui sont illustrés Figure(III.3) l'angle d'azimut ϕ et l'angle de tilt θ . L'angle d'azimut détermine l'orientation du panneau par rapport au nord géographique, alors que l'angle de tilt définit son orientation en fonction du sol [61].

Chapitre III Dimensionnement d'une installation PV (autonome, réseau)

L'orientation de ces angles est principalement déterminée par la course du soleil. On peut illustrer cette trajectoire à l'aide d'un diagramme solaire, qui dépeint la position visible du soleil dans le ciel en fonction de l'heure de la journée et de la saison de l'année [61].

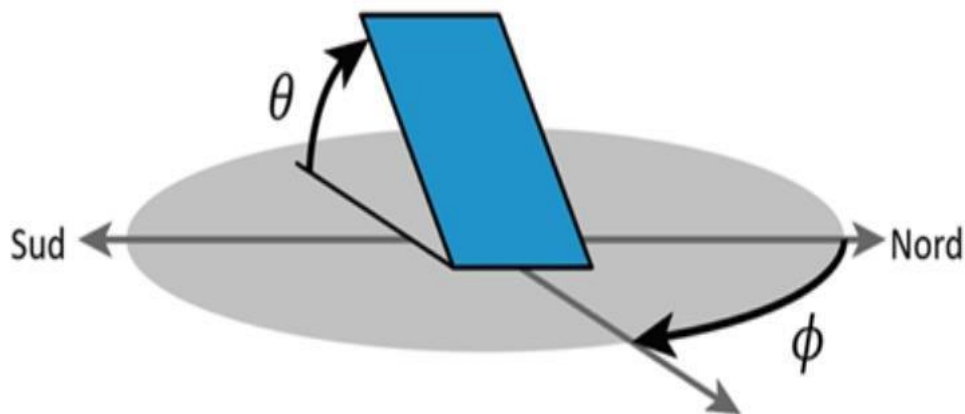


Figure (III.3) : Convention pour l'orientation d'un panneau PV [61].

Un exemple provenant du site SunEarthTools [62] est fourni pour la ville de Sherbrooke (Canada). Figure (III.4) On observe une symétrie de la figure le long d'une verticale à un azimut de 180° (Sud). On note également que durant l'hiver, lorsque le soleil atteint son zénith (son point le plus élevé de la journée), il est à une hauteur de 26°, et durant l'été, à 73°. On remarque finalement que le soleil est visible en hiver pour une durée d'environ 9 heures, alors qu'il est observable presque 14 heures durant l'été.

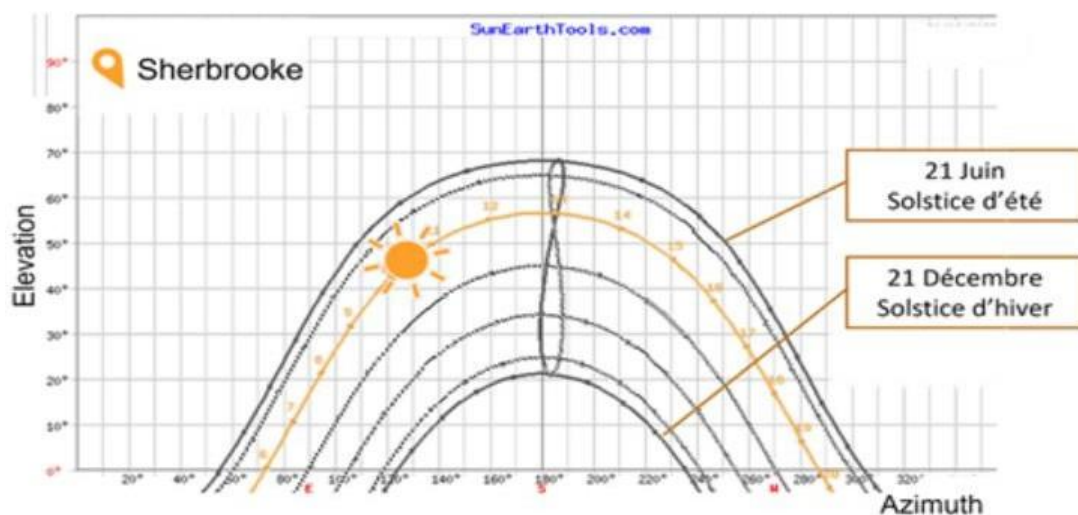


Figure (III.4) : Exemple de Diagramme solaire à Sherbrooke [62].

Ces Variations de la position solaire tout au long de la journée et de l'année influencent directement le choix de la direction du panneau, car l'écart d'alignement entre le soleil et le

Chapitre III Dimensionnement d'une installation PV (autonome, réseau)

panneau réduit l'ensoleillement que reçoit le panneau, diminuant ainsi la production d'énergie [62].

III.2.6 Angle d'incidence :

L'écart d'alignement entre le panneau et le soleil peut être mesuré à l'aide de l'angle d'incidence noté γ_s , qui est défini dans la figure (III.5). Il représente l'angle entre la normale du panneau et les rayons incidents du soleil. L'orientation du panneau (θ et ϕ) ainsi que la position du soleil, qui change au fil de la journée et de l'année, sont liés à cet angle d'incidence. Plus cet angle d'incidence est significatif, Plus l'irradiance captée par le panneau est basse, plus la production d'énergie se réduit [61].

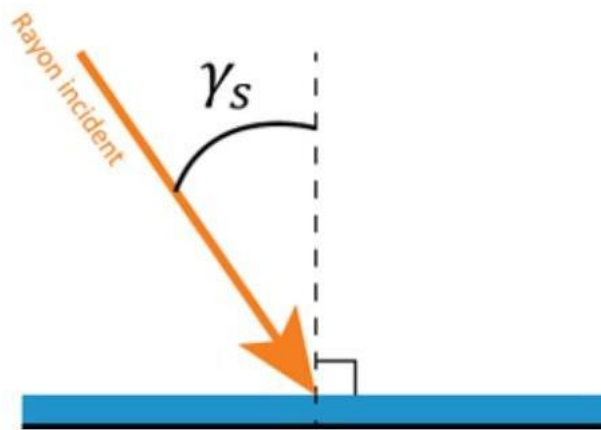


Figure (III.5): Angle d'incidence [61].

III.2.7 Irradiance diffuses :

En présence d'un ciel dégagé, le rayonnement diffus D_{skc} est fonction de la turbidité atmosphérique, de la masse de l'atmosphère et de l'anisotropie de la diffusion. Le facteur d'anisotropie K assure une fonction de régulation en ce qui concerne les faibles hauteurs solaires [63]. En présence de nuages, l'irradiation diffuse atteignant le sol s'accroît de manière non linéaire selon le niveau d'ennuage.

L'examen statistique des données du sol et de l'ennuage nous a révélé la relation suivante :

$$D_n = D_{skc} (1 + 0.65 \cdot K \cdot N \cdot e^{2.5N}) \text{ Wm}^{-2} \quad (\text{III.3})$$

Chapitre III Dimensionnement d'une installation PV (autonome, réseau)

Le paramètre K indique l'anisotropie du diffus qui est exprimé par la relation suivante :

$$K = \frac{\sin(lat)}{C + \sin(lat) + (P-1)(1-F)} \quad (III.4)$$

où : C'est le ratio de la radiation diffuse sur la radiation directe à ciel clair, P le coefficient de clarté du ciel et Y est un polynôme du deuxième ordre en fonction de latitude de lieu.

$$C = \frac{D_{skc}}{I_{skc}} \quad (III.5)$$

$$P = \frac{I_{skc}}{G_{skc}} \quad (III.6)$$

$$Y = 0.309 - 0.137 \sin(lat) + 0.394 \sin^2(lat) \quad (III.7)$$

III.2.8 Irradiance directe :

L'irradiance directe qui parvient au sol dépend de l'irradiance directe en ciel dégagé I et du degré d'enneuagement N. Lorsqu'il y a un ciel complètement nuageux, l'irradiance directe tombe à zéro, et elle se réduit de manière significative lorsqu'on fait face à des nuages. Afin de simplifier le processus et d'assurer une cohérence dans le modèle, nous avons déterminé l'irradiance globale à partir des irradiances globale et diffuse [64].

$$I_n = \frac{G_n - D_n}{\cos(zh)} \quad \text{Wm}^{-2} \quad (III.8)$$

III.2.9 Irradiance globale :

L'irradiance globale au niveau du sol G_{skc} est tributaire du trouble atmosphérique et de la masse atmosphérique sous un ciel dégagé. Lorsque des nuages sont présents, l'irradiance globale au sol se limite à l'irradiance directe qui atteint le sommet des nuages et est ensuite diffusée par ceux-ci vers le sol. Lorsqu'il y a des nuages fragmentés, l'irradiance totale au sol est calculée comme la somme de deux éléments en fonction du pourcentage de couverture des pixels par les nuages [64].

Nous proposons la relation suivante :

$$G_n = G_{skc} (1-N) + I_{skc} K (1 - (-0.225N)) \quad \text{Wm}^{-2} \quad (\text{III.9})$$

III.2.10 Ombrage :

III.2.10.1 Définition de l'ombrage :

Un Ombrage est un obstacle (bâtiment, arbre,...) qui masqueront le soleil. L'effet d'un ombrage sur les panneaux photovoltaïques entraîne une diminution de la production d'énergie. Cette diminution de la production dépend de l'ampleur et de la densité de l'obstacle. Il est préférable d'évaluer l'importance de la perte avant de se lancer dans l'installation de ses panneaux photovoltaïques [65].

Il est possible de différencier deux formes d'ombre : l'ombre partielle permet le passage partiel des rayons solaires sur un chaîne, ainsi la cellule la moins performante influencera le rendement des autres cellules en série), et l'ombre complète d'une rangée de cellules peut nuire à efficacité globale du module photovoltaïque [65].

III.2.10.2 Influence de l'ombrage sur les performances du module :



Figure (III.6) : Influence de l'ombrage sur les performances du module [66].

- Évitez strictement les obstacles qui projettent de l'ombre sur les modules photovoltaïques.
- Veuillez noter que l'ombre change tout au long de la journée et en fonction de la saison.

Chapitre III Dimensionnement d'une installation PV (autonome, réseau)

- Éviter l'ombre causée par les rangées de modules qui sont trop rapprochées.

III.2.11 L'inclinaison optimale du capteur photovoltaïque :

L'énergie produite par les capteurs photovoltaïques est proportionnellement de manière directe à l'exposition au soleil. Pour optimiser l'installation solaire, il est essentiel de prendre en compte ce paramètre qui est lié au site d'installation, à l'orientation et à l'angle d'inclinaison des panneaux [67].

Un plan incliné se définit par son angle d'inclinaison β (par rapport à l'horizontale) et son orientation ou azimut χ en relation avec le sud [67].

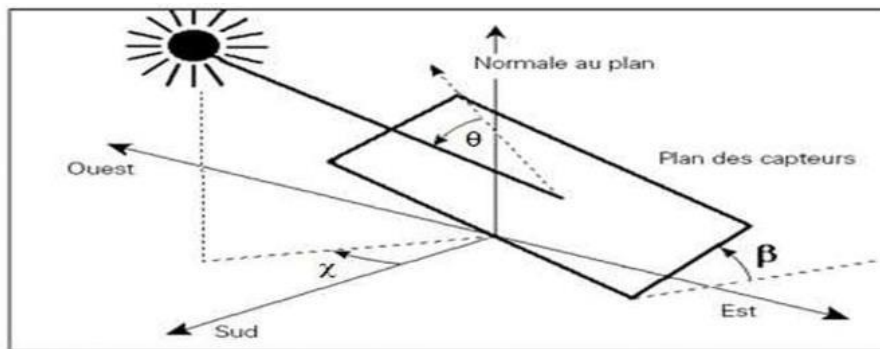


Figure (III.7) : Définition des angles pour un plan incliné : inclinaison β , azimut χ et l'angle [67].

Plus la proximité des rayons avec la perpendiculaire au plan des panneaux ($\cos \theta \approx 1$) est grande, plus l'énergie disponible est conséquente.

- En général, sur une année complète, l'angle idéal pour optimiser la production d'énergie annuelle correspond à la latitude de l'endroit.
- Un angle plus prononcé que la latitude peut augmenter l'énergie captée pendant l'hiver (la course du soleil étant faible dans le ciel), au détriment de celle collectée l'été. Pour une inclinaison plus basse que la latitude, le processus est inversé.

Lors de la conception d'un système photovoltaïque, ces facteurs sont pris en compte.

Le tableau suivant présente les valeurs suggérées pour l'angle d'inclinaison des capteurs photovoltaïques destinés à un usage constant tout au long de l'année, en fonction de la latitude [68].

Chapitre III Dimensionnement d'une installation PV (autonome, réseau)

Tableau (III.1) : Relation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux pour une Utilisation annuelle [69].

Latitude φ (°)	Inclinaison β (°)
$\varphi < 10^\circ$	10°
$10^\circ < \varphi < 30^\circ$	\emptyset
$30^\circ < \varphi < 40^\circ$	$\varphi + 10^\circ$
$\varphi > 40^\circ$	$\varphi + 15^\circ$

III.2.12 Angle d'inclinaison optimale du module PV :

L'angle d'inclinaison fait référence à la pente du panneau photovoltaïque comparé à l'horizontale. On l'évalue en « ° » [70].

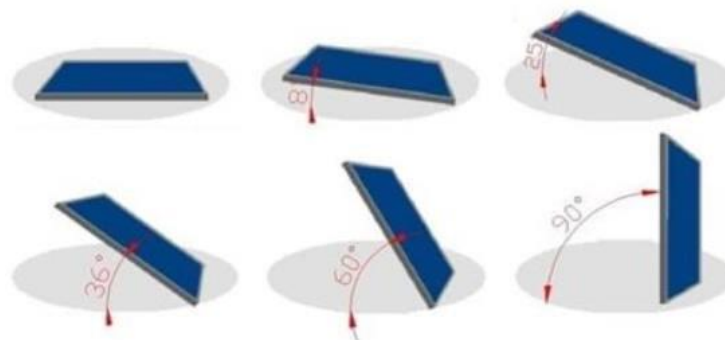


Figure (III.8) : Les inclinaisons possibles des panneaux PV [70].

Dans le cadre d'une installation photovoltaïque autonome, l'orientation est un critère crucial, elle fait référence au degré de pente du panneau par rapport à l'horizontal [70].

La formule pour déterminer l'inclinaison idéale est la suivante :

Pour optimiser la captation du soleil en hiver, l'orientation idéale est plein sud :

- Inclinaison optimale = Latitude du lieu + 10°

Si l'orientation n'est pas plein sud :

- Inclinaison optimale = (Latitude du lieu + 10°) * (1 - orientation/180°)

Chapitre III Dimensionnement d'une installation PV (autonome, réseau)

III.2.13 Orientation optimale fixe :

Lorsqu'on effectue l'installation permanente de panneaux solaires sur un support fixe, il est crucial de définir les angles d'inclinaison (θ_{opt}) et d'azimut (ϕ_{opt}) garantissant une efficacité énergétique maximale pendant la période de production visée [71]. On peut déterminer ces angles dits « optimaux » en utilisant différentes techniques analytiques ou numériques, qui sont généralement fondées sur l'intégration du rayonnement solaire global incident sur la surface du module sur une période définie (habituellement annuelle) [72].

Pour les systèmes photovoltaïques temporaires tels que les remorques solaires utilisées sur une courte période (quelques semaines), il faut adapter l'orientation optimale fixe en fonction de la durée précise d'utilisation pour optimiser la collecte d'énergie pendant cette période limitée [73].

III.2.14 Sensibilité de l'orientation sur l'énergie produite :

Lors de la détermination de l'orientation optimale d'un système photovoltaïque, il est essentiel d'évaluer la tolérance angulaire admissible [74], c'est-à-dire l'amplitude de déviation par rapport à l'azimut idéal au-delà de laquelle la performance énergétique commence à être significativement affectée [75].

Une déviation de plus ou moins 10 degrés par rapport à l'orientation idéale n'affecte que peu la production annuelle d'énergie [76]. Il serait pertinent de mesurer plus exactement l'impact de l'orientation sur la production annuelle d'énergie des panneaux en évaluant les pertes d'énergie lorsque l'on s'écarte de l'orientation idéale déterminée.

Partie I : Dimensionnement théorique

III.3 Energie de consommation :

Étant donné le coût élevé du kilowattheure solaire, il est crucial d'améliorer l'efficacité énergétique du système en intervenant directement sur les récepteurs. Ceci peut être accompli soit par l'implémentation de technologies à grande efficacité énergétique, soit par le changement du matériel actuel en équipements opérant sous courant continu. Même si ces options nécessitent un investissement initial plus conséquent, le coût total du système est réduit grâce à la diminution du nombre de panneaux solaires et de batteries indispensables pour garantir l'approvisionnement en énergie [57].

Chapitre III Dimensionnement d'une installation PV (autonome, réseau)

➤ Les besoins énergétiques des applications :

Il est nécessaire d'évaluer la puissance électrique des applications à alimenter pour une adaptation optimale du système. On exprime la nécessité de l'énergie par :

$$E_c = P \times t \quad (\text{III.10})$$

Avec :

E_c : énergie consommée.

P : puissance de fonctionnement de l'appareil.

t : temps d'utilisation.

Étant donné que la production d'un système photovoltaïque est naturellement limitée aux heures diurnes, il est cohérent d'adopter une période de 24 heures comme unité de référence pour l'analyse énergétique. On définit alors $E_{\text{cons}}(t)$ comme l'énergie électrique totale consommée par l'application sur une journée complète, exprimée en wattheures par jour (Wh/j), et désignée sous le terme de consommation journalière.

Pour déterminer la consommation énergétique totale du système, on évalue la quantité d'énergie consommée sur 24 heures par chaque équipement ou sous-système électrique, en tenant compte de leur puissance nominale et de leur durée quotidienne d'utilisation. La somme de ces consommations partielles permet d'obtenir la consommation journalière globale, paramètre fondamental pour le dimensionnement des modules photovoltaïques et des unités de stockage.

Elle s'exprime par :

$$E_t = \sum P_i \times T_i \quad (\text{III.11})$$

Avec :

P_i : Puissance électrique d'un appareil « i » exprimée en Watt (W).

T_i : Durée d'utilisation de cet appareil « i » en heure par jour (h/j).

Chapitre III Dimensionnement d'une installation PV (autonome, réseau)

III.4 Dimensionnement du Générateur Photovoltaïque :

III.4.1 Puissance crête :

Pour dimensionner un générateur photovoltaïque, il est nécessaire de commencer par déterminer le nombre total de modules requis pour fournir l'énergie à la charge :

La puissance crête du générateur :

$$P_c = \frac{1000 \times E_{Tot}}{G \cdot FCG} \quad (III.12)$$

Avec :

E_{Tot} : Energie totale consommée par jour (Wh /J).

G : Irradiation globale sur un plan incliné (Wh/J/m²).

FCG : Facteur de correction globale (entre 0.65 et 0.9) la valeur souvent utilisée est 0.65.

III.4.2 Tension de fonctionnement du champ photovoltaïque :

La tension de fonctionnement est déterminée en fonction de la puissance maximale du champ photovoltaïque, exprimée en watts. En termes généraux :

Tableau (III.2) : Tension du champ en fonction de sa puissance crête [77].

Puissance Crête (Wc)	Moins de 500Wc	De 501Wc a 2000Wc	De 2000Wc a 10000Wc	Plus 10000 Wc
Tension de champ	12	24	48	96

III.4.3 Nombre des panneaux photovoltaïques :

A partir de P_{ch} On peut déterminer le nombre de panneaux solaires nécessaires de l'installation, il suffit de diviser la puissance totale à mettre en place par la puissance unitaire d'un panneau solaire :

$$N_m = \frac{P_{ch}}{\text{Puissance crete unitere panneau}} \quad (III.13)$$

Chapitre III Dimensionnement d'une installation PV (autonome, réseau)

III.4.3.1 Nombre des panneaux photovoltaïques en séries :

Connecté en série augmentera la tension du champ, pour cela il faut s'assurer que cette tension est bien comprise dans la plage de tension MPPT de l'onduleur auquel le champ est connecté.

Le nombre minimal et maximal de panneaux photovoltaïques en série se calculent par les formules ci-dessous :

$$\text{-Nombre minimal de modules en série} = E + \left[\frac{V_{MPPT,MIN}}{V_{MPP} \times 0.85} \right] \quad (\text{III.14})$$

$$\text{-Nombre maximal de modules en série} = E - \left[\frac{V_{MPPT,MAX}}{V_{MPP} \times K} \right] \quad (\text{III.15})$$

Avec :

- $E-[X]$: La partie entière inférieure du nombre X.
- $E+[X]$: La partie entière supérieure du nombre X.

$V_{MPPT,MIN}$: La valeur minimale de la tension pour laquelle le tracker (MPPT) fonctionne.

$V_{MPPT,MAX}$: La valeur maximale de la tension pour laquelle le tracker (MPPT) fonctionne.

V_{MPP} : La tension de puissance maximale des modules photovoltaïques.

k : Ratio de performance (65%-90%)

III.4.3.2 Nombre des panneaux photovoltaïques en parallèles :

Connecté en parallèle augmentera les ampères du champ, le nombre de modules en parallèles se calcule en divisant le nombre total de modules par le nombre de modules reliés en série, comme suite :

$$N_p = \frac{N_m}{N_s} \quad (\text{III.16})$$

N_m : nombre total de panneaux photovoltaïques.

N_s : nombre de panneaux connectés en série.

III.4.4 Calcul de la taille de la surface photovoltaïque :

La surface du générateur photovoltaïque correspond à l'aire totale occupée par les modules, assemblés en série et en parallèle. Ce générateur est dimensionné de manière à répondre aux

Chapitre III Dimensionnement d'une installation PV (autonome, réseau)

besoins énergétiques de l'utilisateur, et sa taille est directement calculée à partir de la surface disponible ou nécessaire [18].

$$\text{Surface} = N_{MP} \times N_{MS} \times S_M \quad (\text{III.17})$$

Avec :

S_M : Surface du module (m^2).

N_{MS} : Nombre des module en sérié.

N_{MP} : Nombre des modules en parallèle.

III.5 Dimensionnement de batterie :

III.5.1 Calcule la capacité de stockage de la batterie :

La capacité totale que devra accumulée les batteries est donnée par la formule suivante :

$$C_{\text{sys}} = \frac{Ec \times N}{DOD \times U_{\text{sys}}} \quad (\text{III.18})$$

C_{sys} : Capacité de stockage des les batteries en (Ah).

Ec : L'énergie consommée par jour en (Wh/j).

DOD : Décharge maximale des batteries (0.8 pour les batteries au plomb).

U_{sys} : La tension du système.

N : Le nombre des jours d'autonomie.

III.5.2 Calcule de nombre des batteries :

$$Nb = \frac{C_{\text{sys}}}{C_{\text{bat}}} \quad (\text{III.19})$$

C_{sys} : capacité de la batterie de stockage (Ah) ou (Wh).

C_{bat} : capacité de la batterie (Ah).

Chapitre III Dimensionnement d'une installation PV (autonome, réseau)

III.5.3 Nombre des batteries en séries :

$$N_{BS} = \frac{V_{inst}}{V_{bat}} \quad (III.20)$$

Avec :

V_{bat} : tension de la batterie, (V)

V_{insta} : tension d'installation, (v)

III.5.4 Nombre de batterie en parallèle :

$$N_{BP} = \frac{NB}{NBS} \quad (III.21)$$

Avec :

NB: nombre total de la batterie.

NBS : nombre de batterie en série.

III.6 Dimensionnement de l'onduleur :

Le système fournit un courant continu (DC), il est nécessaire de transformer ce dernier en courant alternatif (AC).

La détermination de la taille d'un onduleur repose sur l'addition des puissances maximales de chaque appareil à brancher sur le courant alternatif, et elle se réalise en tenant compte de divers facteurs [23].

- **La tension d'entrée** : est la tension continue fournie par les panneaux photovoltaïques ou par le système de stockage (12, 24 ou 48).
- **Tension de sortie** : en Algérie nous utilisons du 220 VAC, 50Hz.
- **Puissance nominale** : puissance de l'onduleur (en VA), calculée en fonction des besoins et des équipements à alimenter en même temps.
- **Rendement de l'onduleur** : L'onduleur, comme tout appareil électrique, est composé d'éléments électroniques (diodes, condensateurs, etc.) qui chauffent lors de son fonctionnement, donc une partie de la puissance continue en entrée de l'onduleur est donc dissipée sous forme de chaleur. On définit alors le rendement de l'onduleur

Chapitre III Dimensionnement d'une installation PV (autonome, réseau)

comme le rapport de la puissance de sortie (alternative) sur la puissance d'entrée (continue) [78] :

$$\eta = (\text{Puissance alternative}) / (\text{Puissance continue}).$$

III.7 Dimensionnement du régulateur de charge :

Dans une installation photovoltaïque autonome, le régulateur de charge joue un rôle clé en gérant la circulation d'énergie entre les panneaux solaires et les batteries. Pour optimiser la capacité du régulateur de charge, il est nécessaire de déterminer la capacité appropriée en tenant compte de la puissance des panneaux solaires et de la capacité de charge des batteries. Cela assure que le contrôleur de charge est capable de gérer de manière efficace le courant énergétique tout en protégeant les batteries d'une surcharge ou d'une décharge trop importante [79].

Le choix du régulateur dépend du nombre de chaînes de modules photovoltaïques installés et du courant maximal généré par le système photovoltaïque (I_{\max}), qui est déterminé comme suit :

$$I_{\max} = I_{cc} \times N_{B\text{-string}} \quad (\text{III.22})$$

I_{\max} : Courant maximal total (intensité maximale du courant).

I_{cc} : Courant de court-circuit d'une string (chaîne) de modules photovoltaïques.

$N_{B\text{-string}}$: Nombre de strings (chaînes de panneaux solaires) connectées en parallèle.

Le courant du régulateur de charge choisit doit être supérieure à I_{\max} .

III.8 Dimensionnement des Câbles électriques solaires :

Le transport de l'énergie entre les modules photovoltaïques et le régulateur de charge nécessite l'usage de câbles spécifiques.

Seuls les câbles solaires, conçus pour résister aux agressions extérieures (UV, variations thermiques, humidité), assurent une durabilité supérieure à 30 ans avec des pertes énergétiques minimales.

Chapitre III Dimensionnement d'une installation PV (autonome, réseau)

La résistance électrique d'un câble est indépendante de la tension et de l'intensité du courant. Elle dépend de la résistivité ρ du matériau conducteur, de la longueur L , de la section S , selon :

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S} \quad (\text{III.23})$$

L'élévation de température augmente la résistivité, et donc pertes d'énergie.

III.9 Maintenance de l'installation de système photovoltaïque :

Les installations photovoltaïques requièrent une maintenance régulière, notamment des vérifications, pour assurer leur performance optimale :

a. Maintenance PV :

- Nettoyage périodique (intervalle recommandé : 6 mois à 1 an) avec eau déminéralisée ou produits non abrasifs pour limiter la perte de rendement (jusqu'à -20 % en cas de salissures).
- détection de hots spots ou de cellules défectueuses via caméra infrarouge.
- Vérification de l'état du verre de protection.
- Test électrique (I-V Curve Tracer) : comparaison des performances réelles avec les données constructeur.

b. Maintenance batterie :

- Contrôle du SOC (State of Charge) et du SOH (State of Health).
- Inspection physique : gonflement, fuite électrolytique, oxydation des bornes.
- Mesures de tension cellule par cellule (pour batteries lithium ou plomb).
- Cycle de charge/décharge programmé pour recalibrage (selon technologie).
- Gestion thermique : vérification du système BMS (Battery Management System).

c. Maintenance Régulateur :

- Vérification de la fixation du régulateur.
- Vérification de l'état de charge.

d. Maintenance d'Onduleur :

- Vérifier l'onduleur signifie s'assurer que : les récepteurs supportent la distorsion de l'onduleur et tolèrent les fluctuations de tension de sortie, l'onduleur est conçu pour prévenir la surcharge et se coupe automatiquement pour protéger la batterie en cas de basse tension [80].

Partie II : Dimensionnement par logiciel PV

III.10 Présentation de logiciel de simulation PVSYST :

Un logiciel de simulation photovoltaïque est un instrument d'ingénierie qui sert à élaborer et perfectionner des systèmes photovoltaïques en reproduisant leur fonctionnement électrique et énergétique dans des conditions réelles. . Il utilise des algorithmes de calcul dynamique pour évaluer la production solaire par heure, jour où année. PVSYST est un outil destiné à être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs, tout en étant également un support didactique très utile.

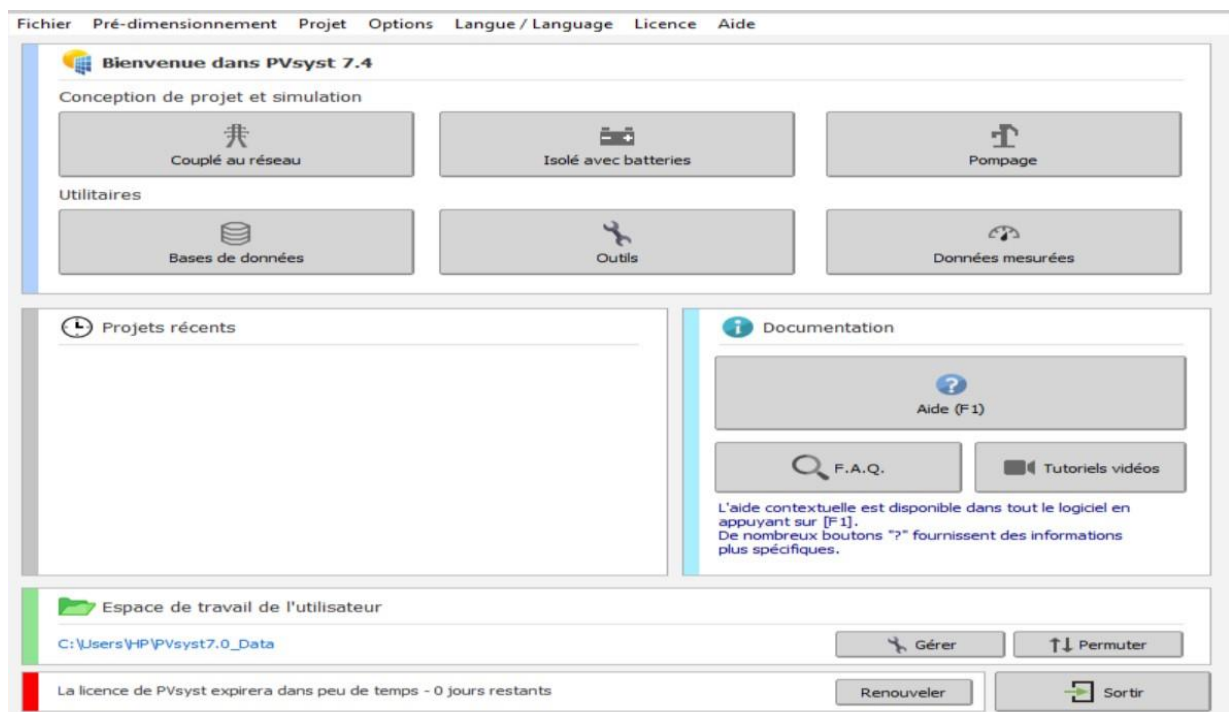


Figure (III.9) : Présentation de logiciel PVSYST

III.11 Conception du Système :

La mise en place d'un système photovoltaïque est une opération délicate qui requiert une organisation minutieuse et un examen détaillé des exigences énergétiques. PVSyst est un

Chapitre III Dimensionnement d'une installation PV (autonome, réseau)

logiciel très prisé pour la conception de projets photovoltaïques, qui rend cette opération plus aisée en proposant une approche simple et efficace pour évaluer les performances d'un système.

III.11.1 Estimation de la charge électrique :

Cette fonctionnalité initiale du programme donne la possibilité à l'utilisateur d'identifier les équipements électriques à approvisionner en énergie [80]. Le programme propose une interface conviviale permettant d'entrer la puissance de chaque équipement (en watts) et sa durée moyenne d'utilisation quotidienne (en heures) [81]. Il peut aussi inclure une base de données déjà fournie d'appareils courants (éclairage, électroménager, outils, etc.) pour simplifier la saisie [80]. Le programme détermine automatiquement la consommation d'énergie totale quotidienne (en Wh), ce qui sert de base pour le dimensionnement [81].

III.11.2 Estimation du nombre de panneaux photovoltaïques :

Le logiciel évalue la puissance photovoltaïque nécessaire en se basant sur la charge calculée et l'exposition moyenne au soleil du site (qu'il peut déduire d'une base de données géographique ou saisir manuellement). Il intègre les pertes du système (efficacité, direction, température, etc.) afin de perfectionner le résultat. On détermine donc le nombre de panneaux en divisant la puissance nécessaire par la puissance nominale d'un panneau sélectionné (l'utilisateur a la possibilité d'en choisir un dans une liste ou d'entrer ses spécifications techniques).

III.11.3 Estimation du parc de batteries :

L'application PV système offre à l'utilisateur la possibilité de spécifier le degré d'autonomie désiré (nombre de jours sans exposition au soleil) ainsi que la catégorie de batterie employée (plomb-acide, lithium, etc.). En se basant sur ces paramètres, il détermine la capacité totale nécessaire (en Wh ou Ah) pour emmagasiner l'énergie nécessaire. L'application peut également inclure des mesures de sécurité telles que la profondeur maximale de décharge afin d'étendre la longévité des batteries. On déduit par la suite le nombre de batteries en fonction de la capacité unitaire sélectionnée.

Chapitre III Dimensionnement d'une installation PV (autonome, réseau)

III.11.4 Estimation des coûts du système :

Cette fonctionnalité récente offre une évaluation globale du budget. Le programme cumule les coûts des divers éléments (panneaux, batteries, onduleur, régulateur, câblage, structure, etc.), en se basant sur une base de données actualisée ou personnalisable par l'utilisateur. Cela peut également englober les coûts d'installation, de maintenance et d'autres dépenses associées. Le but est de proposer une estimation précise du coût total du système, ainsi qu'un rapport récapitulatif exportable.

III.12 Définir du projet :

III.12.1 Données localisation du site :

Pour réaliser localisation du site dans le logiciel PVSYST, allez dans —Site Géographique puis cliquez sur l'onglet —Carte interactif. Entrez le nom de la localité (par exemple —Tiaret) dans le champ de recherche, puis cliquez sur —Search pour localiser l'emplacement sur la carte. Une fois le site sélectionné, cliquez sur —Importer pour charger les coordonnées géographiques et les données du site dans le projet.

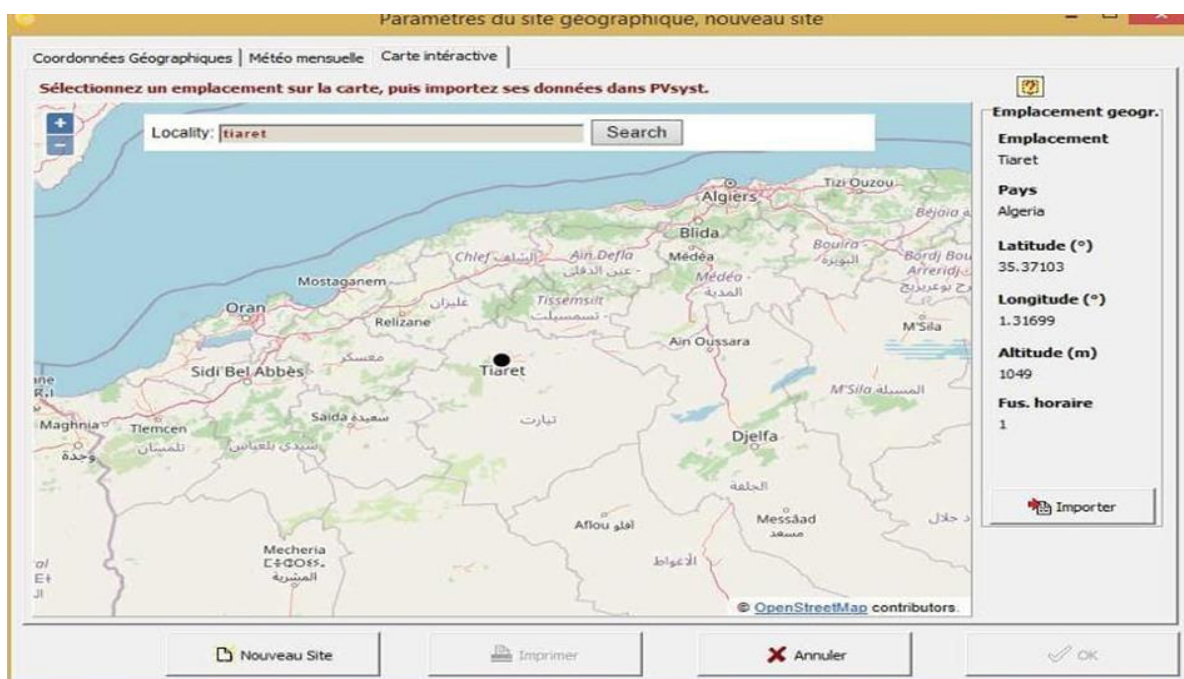


Figure (III.10) : Exemple d'Emplacement géographique de la wilaya de Tiaret [82].

Chapitre III Dimensionnement d'une installation PV (autonome, réseau)

III.12.2 Données météorologiques du site :

Une fois le site identifié, on appuie sur le bouton « importer » pour transférer les données climatiques du site vers PVSYST. Ces informations mensuelles comprennent l'irradiation, la température, la vitesse du vent, l'humidité, etc.

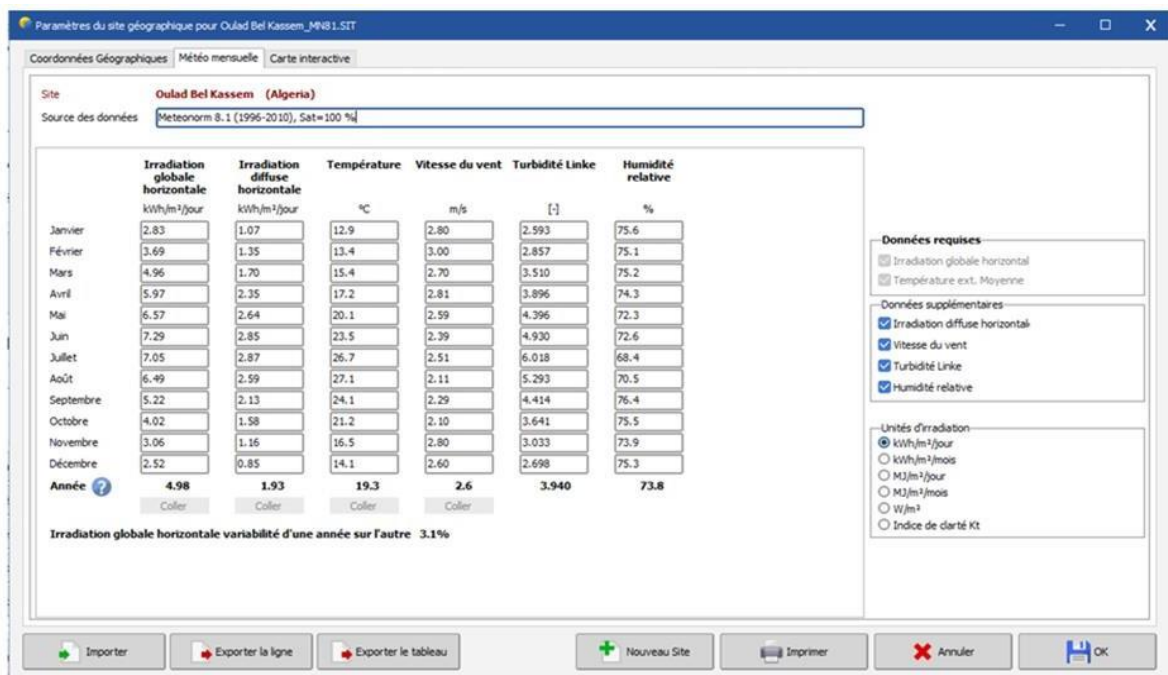


Figure (III.11) : Exemple caractéristique climatique [82].

III.12.3 Coordonnées Géographiques :

Il est indispensable d'avoir des connaissances en coordonnées géographiques pour déterminer la latitude, la longitude et l'altitude de cet emplacement dans la wilaya de Tiaret [82].

Chapitre III Dimensionnement d'une installation PV (autonome, réseau)

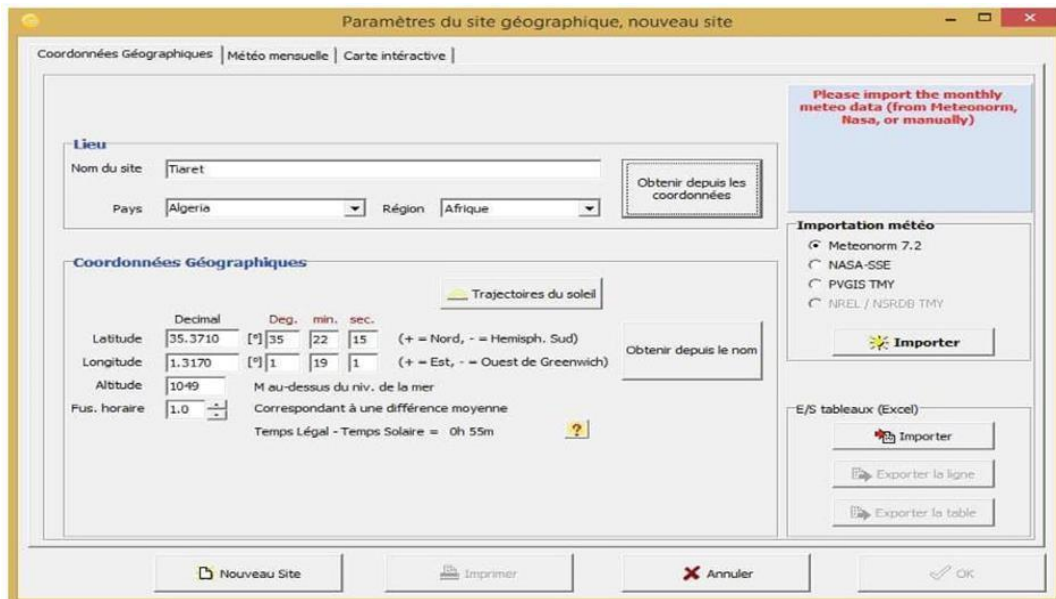


Figure (III.12) : Coordonnées géographiques du site de Tiaret [82].

III.12.4 Trajectoire du soleil :

La connaissance du parcours solaire tout au long de l'année est un élément crucial pour la planification d'un projet photovoltaïque. Des programmes de simulation comme PVSYS offrent la possibilité d'observer la position du soleil dans le ciel en fonction de l'azimut à un emplacement précis sur Terre tout au long de l'année. L'image ci-dessous tirée de PVSYS illustre la trajectoire solaire pour Honaine, indiquant la hauteur du soleil en fonction de l'azimut pour chaque jour de l'année [83].

Cela est crucial pour élaborer une installation solaire idéale sur cet emplacement [83].

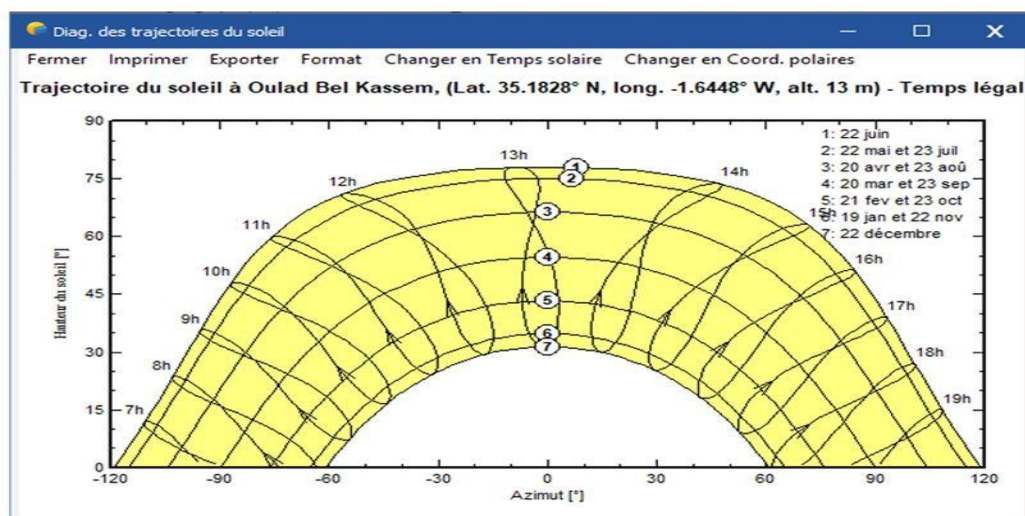


Figure (III.13) : Exemple Trajectoire du soleil [83].

Chapitre III Dimensionnement d'une installation PV (autonome, réseau)

III.13 Orientation PV :

Il faut sélectionner des directions et des pentes qui favorisent la production d'énergie.

Nous avons opté pour une inclinaison fixe par rapport à l'horizontale, comme montré dans la figure (III.14), correspondant à l'angle optimal fourni par le logiciel PVSYST [84].

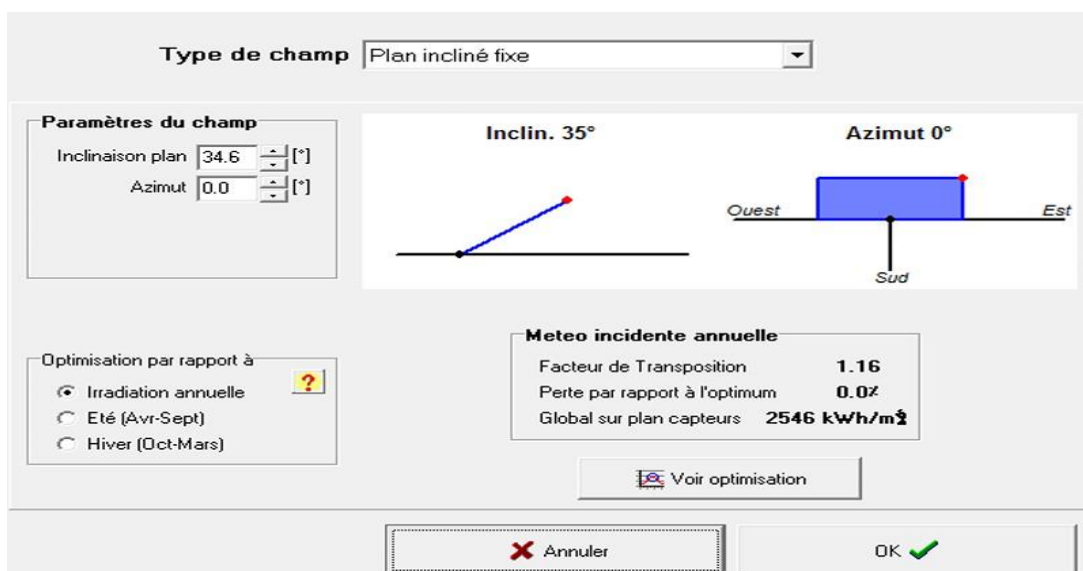


Figure (III.14) : Positionnement des systèmes de panneaux PV [84].

III.14 Définition des besoins de l'utilisateur :

L'évaluation de la consommation d'électricité quotidienne pour les divers appareils en fonction de leur temps d'utilisation, de leur puissance et de l'énergie qu'ils consomment.

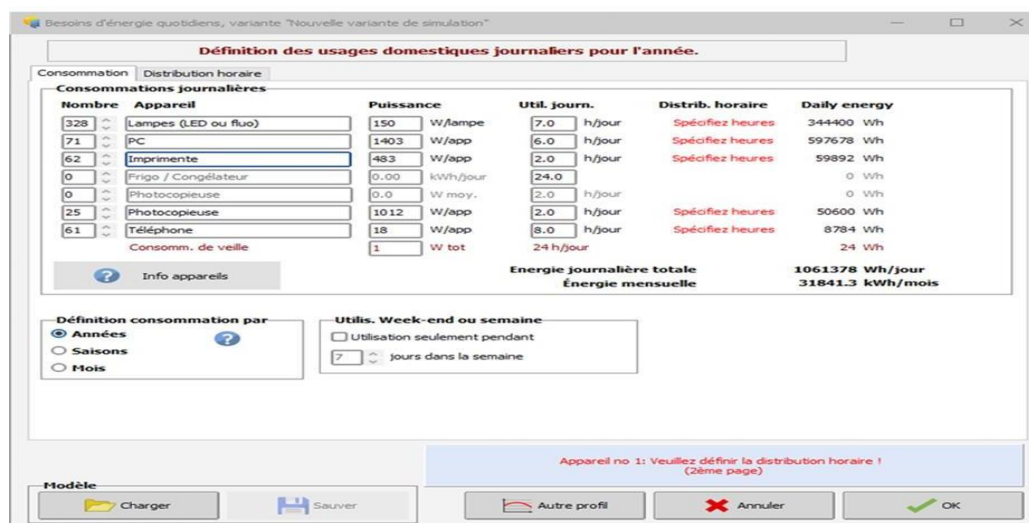


Figure (III.15) : Définition de la consommation des récepteurs [84].

Chapitre III Dimensionnement d'une installation PV (autonome, réseau)

Ensuite, on détaille la répartition horaire de nos exigences, qui ont toujours été satisfaites par le personnel travaillant en interne. On constate que les horaires de travail sont généralement entre 8h00 du matin jusqu'à 17h00, Ce qui est manifestation illustré dans le diagramme de la figure (III.16) [85].

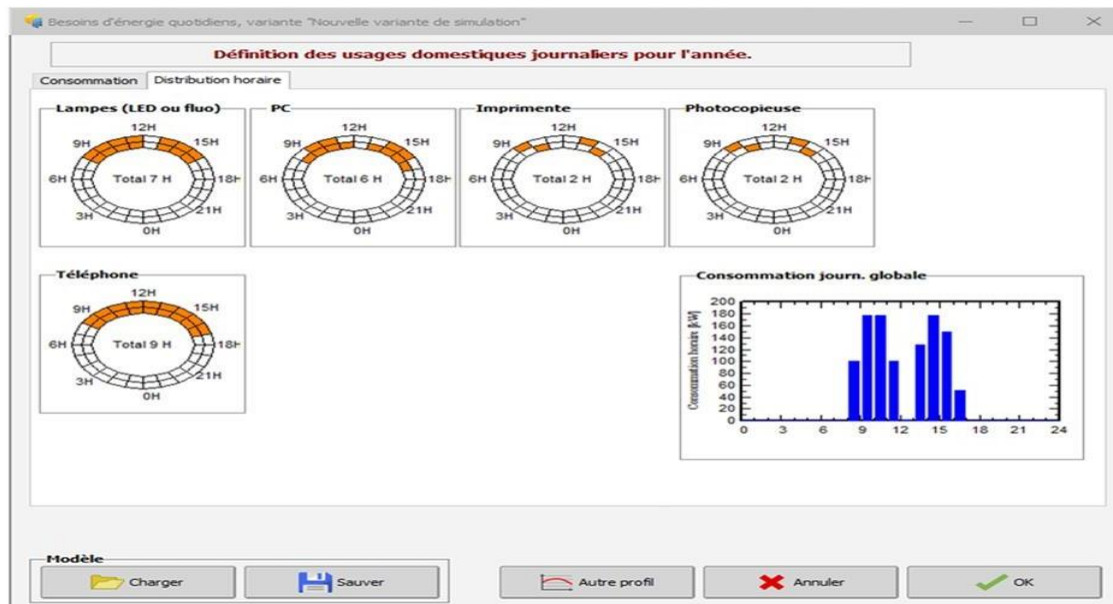


Figure (III.16) : Graphique de la consommation journalière [85].

III.15 Définir du Système :

Dans la boîte de dialogue "Système", vous devez définir le :

- Caractéristiques de la batterie,
- Les caractéristiques du champ photovoltaïque,
- Caractéristiques du régulateur de charge/décharge.

III.15.1 Stockage :

Choisissez le type de batterie, sa capacité, la tension système, et le nombre de batteries en série/parallèle selon les besoins d'autonomie. Assurez-vous ensuite que l'énergie stockée couvre vos besoins journaliers multipliés par le nombre de jours d'autonomie souhaité.

Chapitre III Dimensionnement d'une installation PV (autonome, réseau)

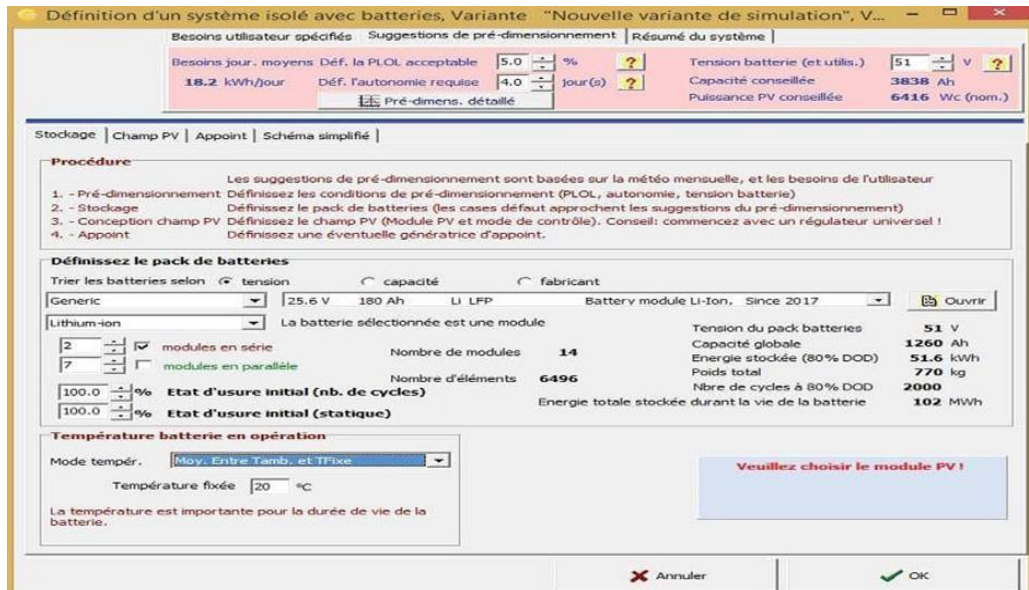


Figure (III.17) : Dimensionnement de la batterie [82].

III.15.2 Champ PV :

À cette étape, le programme nous guide dans la sélection du type de panneau et de batterie le plus adapté, en gardant à l'esprit que le nombre de panneaux et de batteries est déterminé par leurs types respectifs.

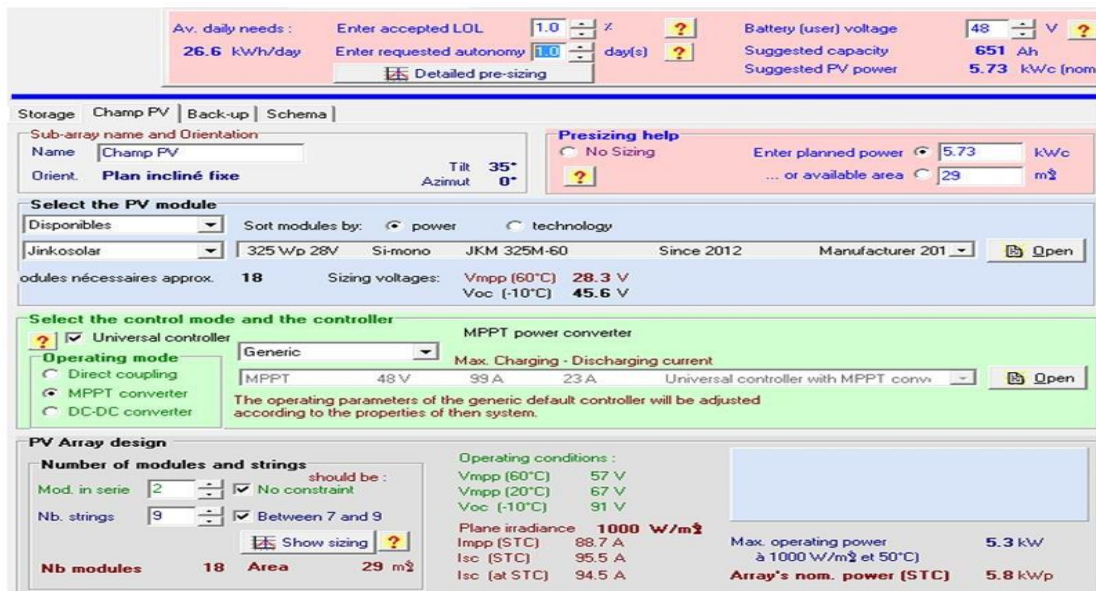


Figure (III.18) : Choix des Caractéristiques du module PV et régulateur [84].

Dans ce cas, il opte pour un panneau monocristallin adapté à une puissance de 325Wc et un convertisseur MPPT de 48V. Le résultat est qu'il obtient 18 panneaux pour une superficie de 29 m², avec deux panneaux en série et 9 chaînes [84].

Chapitre III Dimensionnement d'une installation PV (autonome, réseau)

III.16 Simulation :

Actuellement, sur le tableau de bord du projet, l'ensemble des boutons affichent différents états visuels selon leur disponibilité ou leur fonction : la majorité d'entre eux sont en vert, indiquant qu'ils sont opérationnels et prêts à être utilisés, tandis que certains peuvent apparaître en orange, signalant un état d'avertissement ou une action partiellement complétée. Les boutons non éclairés correspondent à des fonctionnalités temporairement inactives ou en attente de conditions spécifiques pour être activées.

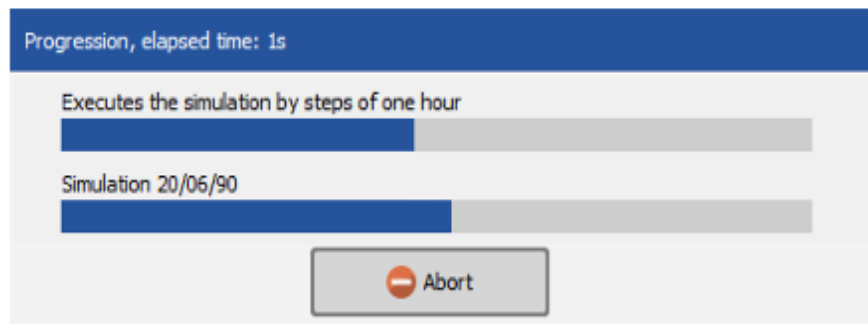


Figure (III.18) : Barre de progression.

Le bouton « Démarrer la simulation » est quant à lui actif et bien visible, ce qui signifie que toutes les conditions préalables ont été remplies et que nous avons la possibilité de lancer la simulation à tout moment en le sélectionnant.

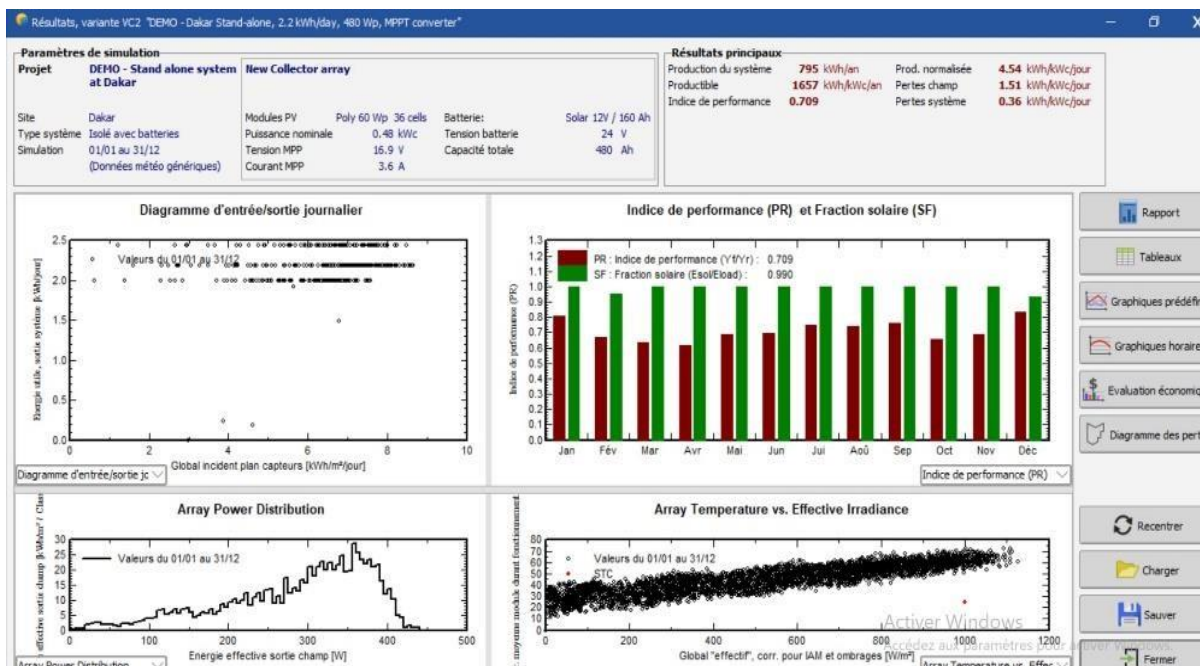


Figure (III.19) : Lancement de simulation.

Chapitre III Dimensionnement d'une installation PV (autonome, réseau)

➤ Rapport :

Ce document détaille un système solaire indépendant mis en place à Dakar, qui génère en moyenne 2,2 kWh par jour pour des besoins résidentiels. Il est constitué de 8 modules ayant une puissance totale de 480 Wc, associés à 6 batteries en gel (24 V, 480 Ah). Le système démontre une excellente performance avec un taux de captation solaire de 98,96 % et une production utile annuelle atteignant 795,46 kWh.



Figure (III.20) : Rapport de la simulation [85].

III.17 L'évaluation économique du système PV :

L'analyse économique d'un système photovoltaïque a pour objectif d'examiner la rentabilité et la solidité financière d'un projet de mise en place solaire. Elle offre la possibilité de prendre en charge les frais d'investissement, les subventions accessibles, les bénéfices prévus et le délai de récupération de l'investissement. Le but est de proposer une analyse claire et globale des éléments économiques du projet, dans le but d'évaluer sa rentabilité sur le long terme. On effectue également une analyse de sensibilité pour évaluer le rendement du système dans divers contextes économiques, comme les fluctuations des tarifs de l'électricité ou les changements dans la production.

Chapitre III Dimensionnement d'une installation PV (autonome, réseau)

Estimation des coûts :

Prix des équipements : panneaux, onduleurs, structure, câblage.

Coût de la main-d'œuvre et de l'installation.

Coûts annexes : études, permis, assurances.

Aides et subventions :

Programmes nationaux de soutien (ex : primes à l'autoconsommation).

Crédit d'impôt ou TVA réduite (si applicable).

Tarif de rachat du surplus.

Estimation de la production et des économies :

Production annuelle (en kWh) = puissance x ensoleillement x rendement système.

Répartition entre autoconsommation et injection réseau.

Économies sur la facture électrique Revenus de revente.

Analyse de rentabilité Contenu :

-Temps de retour sur investissement (TRI) : coût / revenus annuels.

-Taux de rentabilité interne (TRI%).

- Analyse de sensibilité : variation des prix, pannes, météo.

Chapitre III Dimensionnement d'une installation PV (autonome, réseau)

The screenshot displays the 'Evaluation économique' software interface. It is divided into several sections:

- Projet et Variante de simulation:** Project: Maison de hadj massoud; Simulation: Nouvelle variante de simulation; Champ PV, Pnom = 2.1 kWc; Module PV: LG 355 Q1C-A5; Système: Système isolé avec batteries.
- Investissement:** Modules PV: 6 unités de 355 Wc (1832); Supports et intégration (50); Batteries: 16 de 12 V/ 120 Ah (2560); Régulateur (560); Construction, câblage, ... (70); Autres, divers... (1490); Moins-value substitution (0); **Investissement brut, (hors taxe): 6562**.
- Financement:** Taxes: 19.00% (1247); Subventions: 0; **Investissement net: 7809**; Annuités: 627 / an; Coût d'exploitation: 47 / an; **Coût annuel total: 674 / an**.
- Emprunt:** Durée: 20 Ans; Taux: 5.0%; Facteur ann. 8.02 %cap/an.
- Monnaie:** Europa - EU; Cours.
- Coût de l'énergie:** Energie solaire utilisée: 3478 kWh / an; Energie en excès: 294 kWh / an; Coût annuel: 674 / an; Coût de l'énergie utilisée: 0.19 / kWh.

Buttons at the bottom include 'Carbon Balance', 'Imprimer', 'Annuler', and 'OK'.

Figure (III.21) : Exemple Évaluation économique du système PV [87].

III.17 Conclusion :

En conclusion le dimensionnement d'une installation photovoltaïque représente une démarche intégrée et multidimensionnelle qui dépasse le simple calcul de puissance. Il requiert une analyse approfondie des besoins énergétiques, une optimisation rigoureuse de l'orientation des modules, un choix pertinent des composants ainsi qu'une planification efficace de la maintenance. Une conception soigneusement élaborée permet d'assurer non seulement une production énergétique optimale, mais aussi une durabilité accrue des équipements et une maîtrise des coûts d'exploitation. Dans ce contexte, PVSYST s'impose comme un outil méthodologique incontournable, offrant une modélisation précise grâce à une base de données exhaustive des composants et des conditions climatiques. En outre, sa capacité à intégrer des paramètres techniques et économiques en fait une solution complète pour l'évaluation et l'optimisation de la rentabilité des projets photovoltaïques. Ainsi, PVSYST facilite la prise de décision éclairée, contribuant de manière significative à la réussite et à la pérennité des installations solaires.

Chapitre IV

Résultat et discussion

IV.1 Introduction :

Ce chapitre présente une étude technico-économique d'un système photovoltaïque proposé pour l'alimentation électrique de la bibliothèque universitaire, en utilisant le logiciel de simulation PVSYST. L'objectif principal est d'évaluer la performance du système solaire dans deux configurations distinctes : un système connecté au réseau électrique public, et un système isolé avec batteries de stockage.

Dans un premier temps, une simulation d'un système photovoltaïque connecté au réseau a été réalisée, en se basant sur des données réelles relatives au site de la bibliothèque et à ses besoins énergétiques. Cette simulation a été accompagnée d'une partie théorique détaillant les composants de ce type de système, son mode de fonctionnement, ainsi que son adéquation à un environnement universitaire à consommation énergétique régulière.

Ensuite, la simulation d'un système photovoltaïque isolé, équipé de batteries permettant de stocker l'énergie pour une utilisation en dehors des heures d'ensoleillement, a été effectuée. Une partie théorique complémentaire a été consacrée à ce type de configuration, en mettant en évidence ses spécificités, ses contraintes techniques, ainsi que les conditions nécessaires à son efficacité dans le contexte d'une bibliothèque universitaire.

Enfin, une étude économique comparative a été menée entre les deux systèmes. Elle inclut l'analyse des coûts d'investissement, des frais de maintenance, du temps de retour sur investissement, ainsi que de la rentabilité globale à moyen et long terme, afin d'identifier la solution la plus appropriée pour une alimentation électrique durable et fiable de la bibliothèque universitaire.

IV.2 Présentation de la médiathèque de Ain Témouchent :

Notre étude porte sur la bibliothèque centrale de l'université, située dans le site des sciences et technologies, qui dispose d'une superficie totale d'environ 2250 m². Ce bâtiment se compose d'un rez-de-chaussée (un large couloir, une salle étudiante, une imprimerie, une salle informatique et une bibliothèque de recherche), et d'un premier étage, ce qui offre un potentiel important pour l'exploitation de l'énergie solaire. (6 bureaux ; une salle des étudiants ; une salle des professeurs ; un grand couloir ; et une salle des archives).



Figure (IV.1) : La médiathèque de Ain Témouchent.

IV.3 Situation géographique d'Universitaire de Ain-Temouchent (PVSYST) :

L'Université de Aïn Témouchent est située dans la commune de Chahid Belarbi, à quelques kilomètres du centre-ville d'Aïn Témouchent. Cette dernière se trouve à l'ouest de l'Algérie. Elle est localisée à environ 81 kilomètres au sud-ouest de la ville d'Oran et à 504 kilomètres à l'ouest d'Alger, la capitale du pays. Elle est implantée dans une zone appartenant à l'extrémité occidentale de la haute plaine du Sahel oranais.

La figure (IV.2) présente une situation géographique de notre médiathèque au sein de notre université UBBAT, prise par le PV-SYST Logiciel.

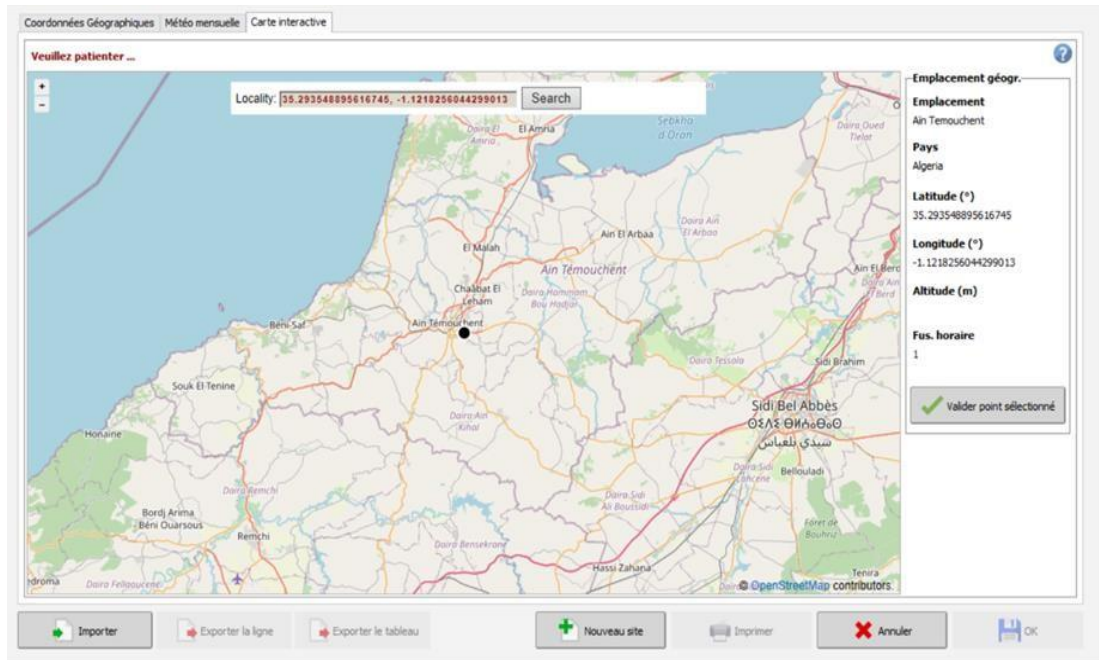


Figure (IV.2) : Situation géographique de L'Université de Ain Témouchent (PV-SYST) médiathèque au sein de notre université UBBAT.

IV.3.1 Données Météorologique d'Universitaire d'Ain-Temouchent (PVSYST) :

Ces données mensuelles fournissent des informations détaillées sur plusieurs paramètres climatiques et environnementaux, notamment l'irradiation solaire en (KWh/m² /jour), la température de l'air (en C°), la vitesse du vent (en m/s), ainsi que le taux d'humidité relative en %, sont montrés dans le tableau pris par le PVSYST dans la figure (IV.3).

	Irradiation globale horizontale kWh/m ² /jour	Irradiation diffuse horizontale kWh/m ² /jour	Température °C	Vitesse du vent m/s	Turbidité Linke [-]	Humidité relative %
Janvier	2,76	0,94	13,0	2,79	2,599	75,3
Février	3,62	1,47	13,5	3,00	2,873	74,9
Mars	4,82	1,82	15,5	2,79	3,588	74,6
Avril	5,87	2,25	17,2	2,90	3,949	74,6
Mai	6,43	2,87	20,2	2,60	4,482	72,8
Juin	7,25	2,82	23,6	2,49	4,998	72,7
Juillet	7,06	2,90	26,9	2,50	6,176	68,1
Août	6,52	2,60	27,4	2,20	5,373	70,3
Septembre	5,20	2,14	24,2	2,40	4,481	76,0
Octobre	4,01	1,72	21,3	2,20	3,708	75,0
Novembre	3,00	1,06	16,6	2,80	3,071	74,1
Décembre	2,47	0,98	14,3	2,70	2,711	75,1
Année	4.92	1.97	19.5	2.6	4.001	73.6

Irradiation globale horizontale variabilité d'une année sur l'autre 3.1%

Figure (IV.3) : Météorologique d'Ain Temouchent.

IV.3.2 Trajectoire du soleil a Ain TEMOUCHENT (PVSYST) :

Le diagramme illustré dans la figure VI.4 démontre la variation de la position apparente du Soleil dans le ciel en fonction de l'heure de la journée et de la période de l'année. On y distingue sept courbes correspondant aux trajectoires solaires typiques de différents mois.

Par exemple, la courbe 1, représentant le mois de juin (été), montre que la trajectoire du Soleil est la plus haute dans le ciel et qu'il reste visible plus longtemps par rapport aux autres mois. En revanche, la courbe 7, correspondant au mois de décembre (hiver), indique une trajectoire beaucoup plus basse et une durée d'ensoleillement réduite.

Il est également important de noter que, quelle que soit la période de l'année, le Soleil atteint toujours son point le plus haut dans le ciel aux alentours de midi (entre 12h00 et 13h30).

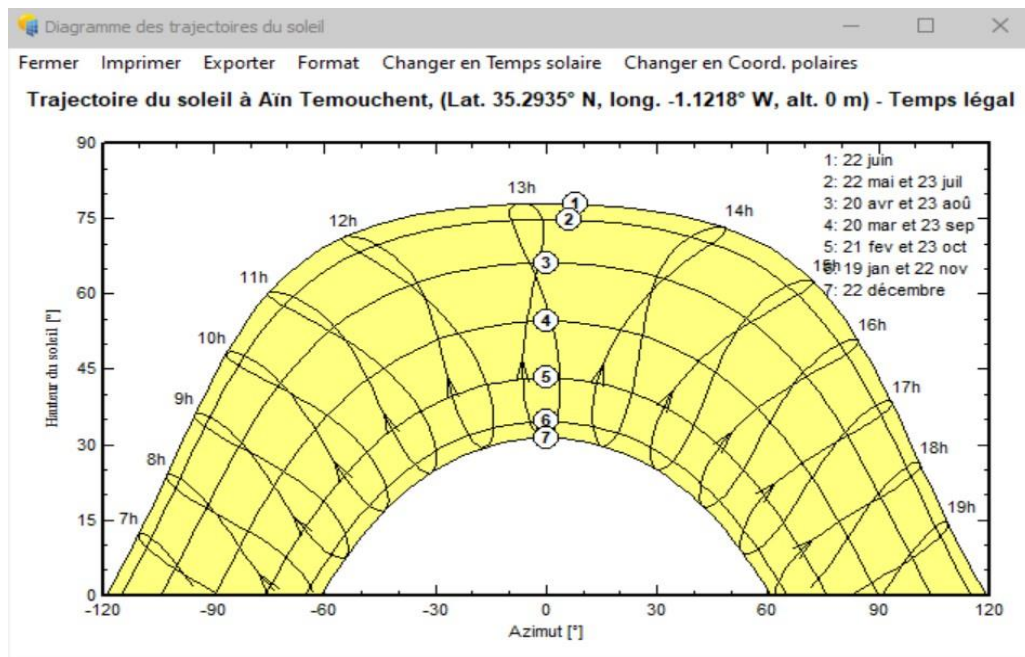


Figure (IV.4) : Trajectoire du soleil a Ain TEMOUCHENT (PVSYST).

IV.4 Dimensionnement de système photovoltaïque PVSYST :

Dans ce dimensionnement nous sommes intéressés par deux conceptions « couplée au réseau » et « autonome ».

IV.4.1 Système Couplée au Réseau :**VI.4.1.1 Cahier des Charges de la Médiathèque :**

La distribution horaire de nos besoins énergétiques sont prise en se basant sur les habitudes des personnels et des travailleurs au sein de la Médiathèque. On constate que les horaires de travail sont généralement fixés entre 8h00 du matin et 17h00, période pendant laquelle le taux d'utilisation des équipements et des besoins énergétiques est le plus élevé.

➤ **Le rez-de-chaussée :****Tableau (IV.1) :** Consommation énergétique en salle des étudiants.

Élément	Puissance (w)	Nombre	P×N (W)	Temps (s)	Énergie de consommation (Wh/j)
Lampes LED	80	36	2880	8 h	23040
Lampes carrées	60	14	840	8 h	6720
Data-show	280	1	280	1 h	280
modem	541	1	541	7 h	4328

Tableau (IV.2) : Consommation énergétique en salle d'informatique et le haule.

Élément	Puissance (w)	Nombre	P×N (W)	Temps (s)	Énergie de consommation (Wh/j)
Lampes LED	80	18	1440	8 h	11520
ordinateurs	452	17	7684	6 h	46104
climatiseur	5065	2	10130	4 h	40520
Appareille bibliothequa	1020	1	1020	8 h	8160
Télévision	60	1	60	7 h	216

Tableau (IV.3) : Consommation énergétique en salle d'imprimerie.

Élément	Puissance (w)	Nombre	P×N (W)	Temps (s)	Énergie de consommation (Wh/j)
Lampes LED	80	6	480	7 h	3360
Lampes carres	60	3	180	7 h	1260
Imprimant (a)	483	4	1932	½ h	966
Imprimant (b)	1173	2	2346	½ h	1173
Imprimant (c)	1012	3	3036	½ h	518
Imprimant (D)	713	1	731	½ h	365.5
Imprimant (E)	897	1	897	½ h	448.5
Imprimant (F)	1100	1	1100	½ h	550
Climatiseur	5065	1	5065	7 h	35455
Ordinateur	452	1	452	7 h	3164

Tableau (IV.4) : Consommation énergétique bibliothèque de recherche.

Élément	Puissance (W)	Nombre	P×N (W)	Temps (s)	Énergie de consommation (Wh/j)
Lampes LED	80	20	1600	7h	11200
Lampes carrées	60	13	780	7h	5400
Ordinateur	452	8	3616	7h	25312
Orfide	9	3	18	7h	126

➤ **Le premier étage :****Tableau (IV.5) :** Consommation énergétique des bureaux.

Élément	Puissance (W)	Nombre	P×N (W)	Temps (s)	Énergie de consommation (Wh/j)
Lampes LED	80	12	960	7h	6720
Lampes carrée	60	3	180	7h	1260
Ordinateur	452	9	4086	7h	28602
Impurement A	80.5	1	80.5	½ h	40.25
Climatiseur	5065	3	15195	4h	60780
Distributeur d'eau	1275	1	1275	2h	2550
Onduleur	670	1	670	8 h	5360
imprimant b	483	1	483	½ h	241.5
imprimant c	924	1	924	½ h	462

Tableau (IV.6) : Consommation énergétique en salle des professeurs.

Élément	Puissance (W)	Nombre	P×N (W)	Temps (s)	Énergie de consommation (Wh/j)
Lampes LED	80	12	960	6h	5760
Climatiseur	5065	1	5065	2 h	10130

Tableau (IV.7) : Consommation énergétique en salle d'archive.

Élément	Puissance (W)	Nombre	P×N (W)	Temps (s)	Énergie de consommation (Wh/j)
Lampes LED	80	24	1920	4h	7680
Climatiseur	5065	1	5065	2h	10130
Ordinateur	452	2	904	4h	3616

Tableau (IV.8) : Consommation énergétique en Salle des étudiants.

Élément	Puissance (W)	Nombre	P×N (W)	Temps (s)	Énergie de consommation (Wh/j)
Lampes LED	80	48	3840	8h	30720
Modem	541	1	541	7h	4328

Tableau (IV.9) : Consommation énergétique du haule.

Élément	Puissance (W)	Nombre	P×N (W)	Temps (s)	Énergie de consommation (Wh/j)
Lampes LED	80	35	2800	8 h	22400
Lampes carrée	60	4	240	8 h	1920

Après une sommation on obtient l'Énergie totale : $E_c = 432885.75 \text{ wh}$

Delà on a eu une Puissance crête de champ : $P_{ch} = 133195.61 \text{ Wc}$

IV.4.1.2 Orientation de système :

Dans cette étape, les paramètres techniques d'un système solaire fixe ont été optimisés afin de maximiser l'irradiation solaire annuelle à Aïn Témouchent, en fixant une inclinaison de 32° et un azimut de 0° (orientation plein Sud). L'option "Irradiation annuelle" a été choisie en raison de la consommation énergétique continue de l'université, notamment pour l'éclairage permanent de la bibliothèque et le fonctionnement quotidien des caméras de surveillance. L'analyse montre que cette configuration permet d'atteindre une irradiation globale de 2083 kWh/m^2 avec 0 % de pertes, garantissant ainsi un dimensionnement optimal et une production énergétique durable. (Voir figure IV.5)

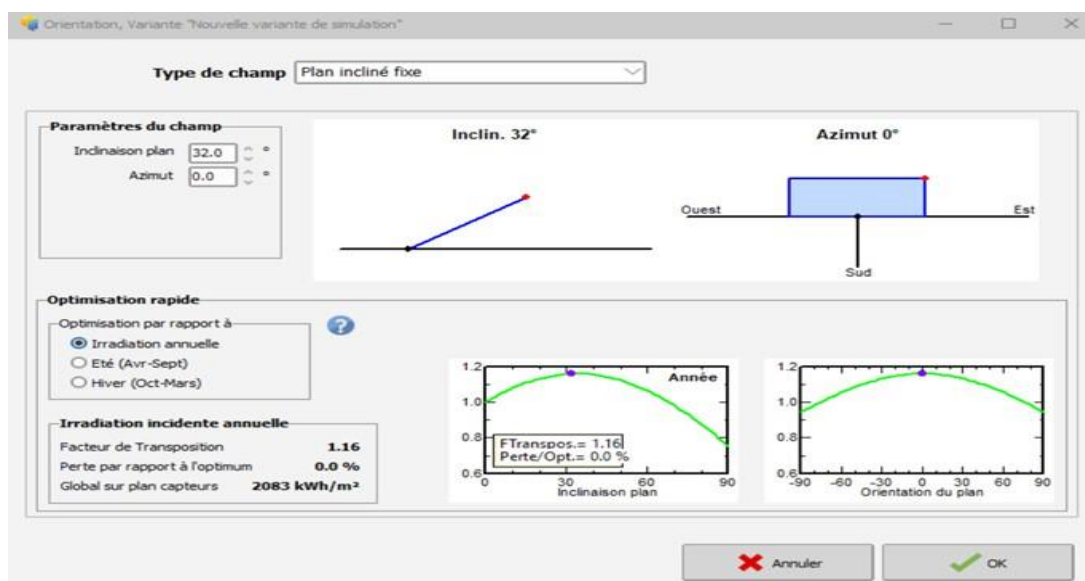


Figure (IV.5) : Boîte de dialogue d'orientation.

IV.4.1.3 Simulation sur PVSYST :

Dans cette étude, on commence par définir la puissance nominale souhaitée du système photovoltaïque, que nous avons fixée à 134 kWc. Ensuite, on choisit le panneau solaire JA Solar d'une puissance de 585 W (de courant I_{mpp} 13.21 A et de Tension V_{mpp} 44.3 V). Enfin, on sélectionné un onduleur Huawei de 150 kW avec 7 entrées MPPT (Tension MPP Minimale 200V, Tension MPP Maximale 1000V) pour une meilleure adaptation aux chaînes.

À l'issue de la simulation effectuée à l'aide de notre logiciel (voir Figure IV.6), il a été déterminé que le système nécessite 225 modules photovoltaïques, pour une surface totale d'installation de 629 m². La configuration adoptée comprend 15 chaînes de 15 modules chacune, tout en respectant les contraintes de tension et de courant imposées par le système. Un seul onduleur a été retenu, avec une puissance de 150 kWc et un rapport de dimensionnement ($P_{nominal}$) de 0.878, ce qui permet d'atteindre une puissance nominale en courant alternatif (AC) de 150 kWAC.

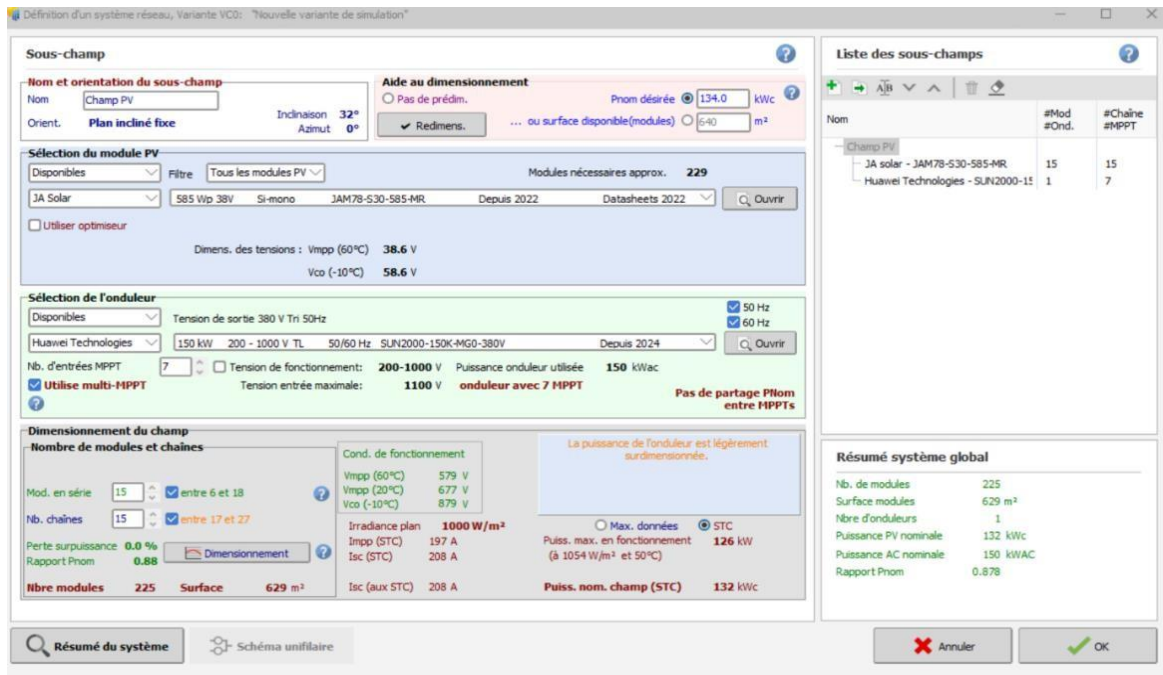


Figure (IV.6) : Pré dimensionnement PVSYS.

VI.4.1.4 Simulation Sans Ombrage :

a) Performance ratio PR

La figure IV.7, présente le Performance Ratio (PR) de notre système sans ombrage, est un indicateur clé permettant d'évaluer l'efficacité globale du système photovoltaïque, indépendamment des conditions d'ensoleillement. Dans cette étude, le PR annuel simulé est de 85,87 %, ce qui reflète une très bonne performance du système. Une telle valeur indique que près de 86 % de l'énergie solaire disponible est effectivement convertie en électricité injectée dans le réseau, malgré les différentes pertes (thermiques, électriques, ombrage, etc.).

L'analyse mensuelle du PR montre une stabilité relative tout au long de l'année, avec des valeurs variant entre 82,2 % (février) et 88,0 % (mars). Cette variation est essentiellement liée aux conditions climatiques, notamment la température ambiante et l'intensité du rayonnement solaire. On note une légère diminution du PR pendant les mois les plus chauds (juillet et août) en raison de l'impact négatif des hautes températures sur le rendement des modules photovoltaïques. Ces résultats suggèrent que le système fonctionne de manière optimale et que les pertes internes et externes sont bien maîtrisées, ce qui renforce la fiabilité et la rentabilité de l'installation.

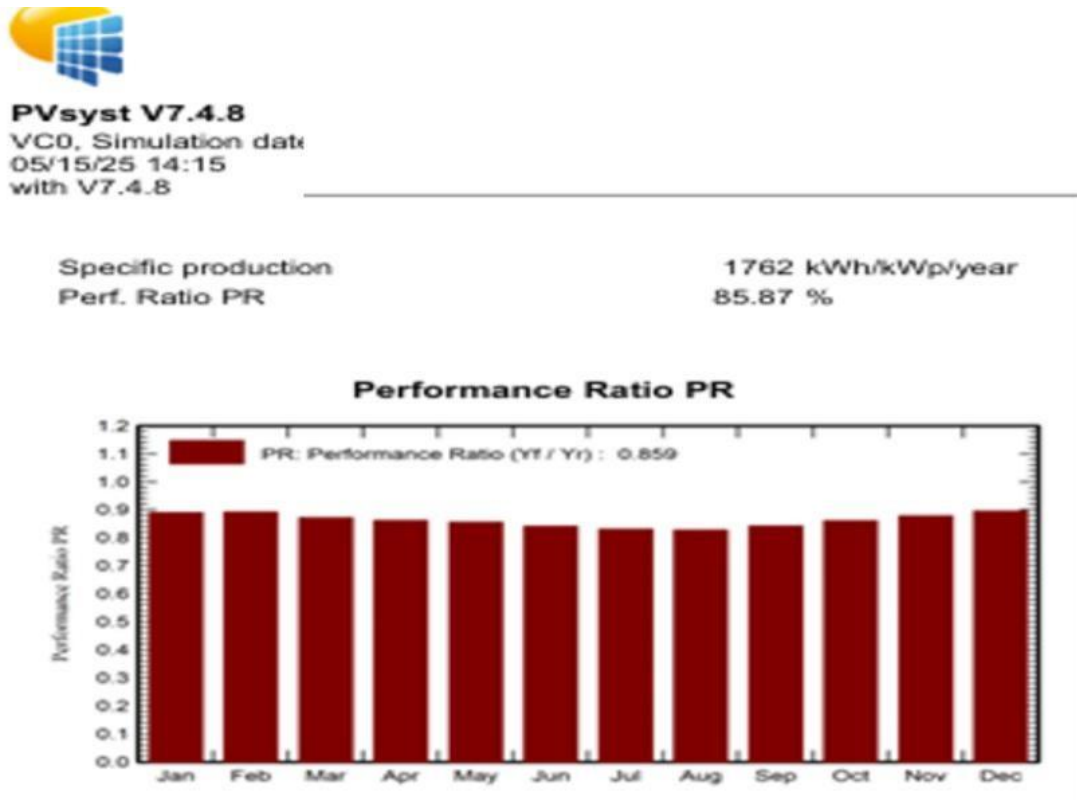


Figure (IV.7) : Performance ratio PR sans ombrage.

b) Diagramme des Pertes :

La Figure IV.8 présente le diagramme de pertes sans ombrage, en mettant en évidence les différentes pertes sur toute la chaîne de conversion de l'énergie solaire en électricité injectée dans le réseau. On a une Irradiation horizontale globale de 1797 kWh/m², représentant l'énergie solaire disponible sur le site au cours de l'année.

On remarque que les pertes sont au niveau de :

1. **Irradiation effective sur le plan des capteurs (2000 kWh/m²)** : Grâce à une bonne inclinaison des modules, l'irradiation est améliorée. Toutefois, une perte de 2,51 % est observée en raison de l'effet de l'angle d'incidence (IAM).
2. **Énergie nominale à STC (263327 kWh)** : Elle représente l'énergie théorique pouvant être produite sous conditions standard (STC).
3. **Pertes dues à la température (-7,75 %)** : Ce sont les pertes les plus importantes du système, causées par la baisse d'efficacité des modules en cas de forte chaleur.
4. **Pertes de qualité et de déphasage des modules** : Totalisant environ -2,8 %, elles traduisent les différences de performances entre les modules et les pertes liées au déséquilibre des chaînes.

5. **Pertes ohmiques dans le câblage (-1,10 %) :** Résultent de la résistance électrique dans les connexions entre les composants.
6. **Pertes de l'onduleur (-1,72 %) :** Elles sont normales et dues au rendement de conversion du courant continu en courant alternatif. Elles indiquent un onduleur relativement efficace.
7. **Énergie disponible à la sortie de l'onduleur :** Le système délivre 231888 kWh, ce qui montre un bon rendement global.



PVsyst V7.4.8
 VCO, Simulation date:
 05/15/25 14:15
 with V7.4.8

Project: pv connecte au reseaux
 Variant: Nouvelle variante de simulation

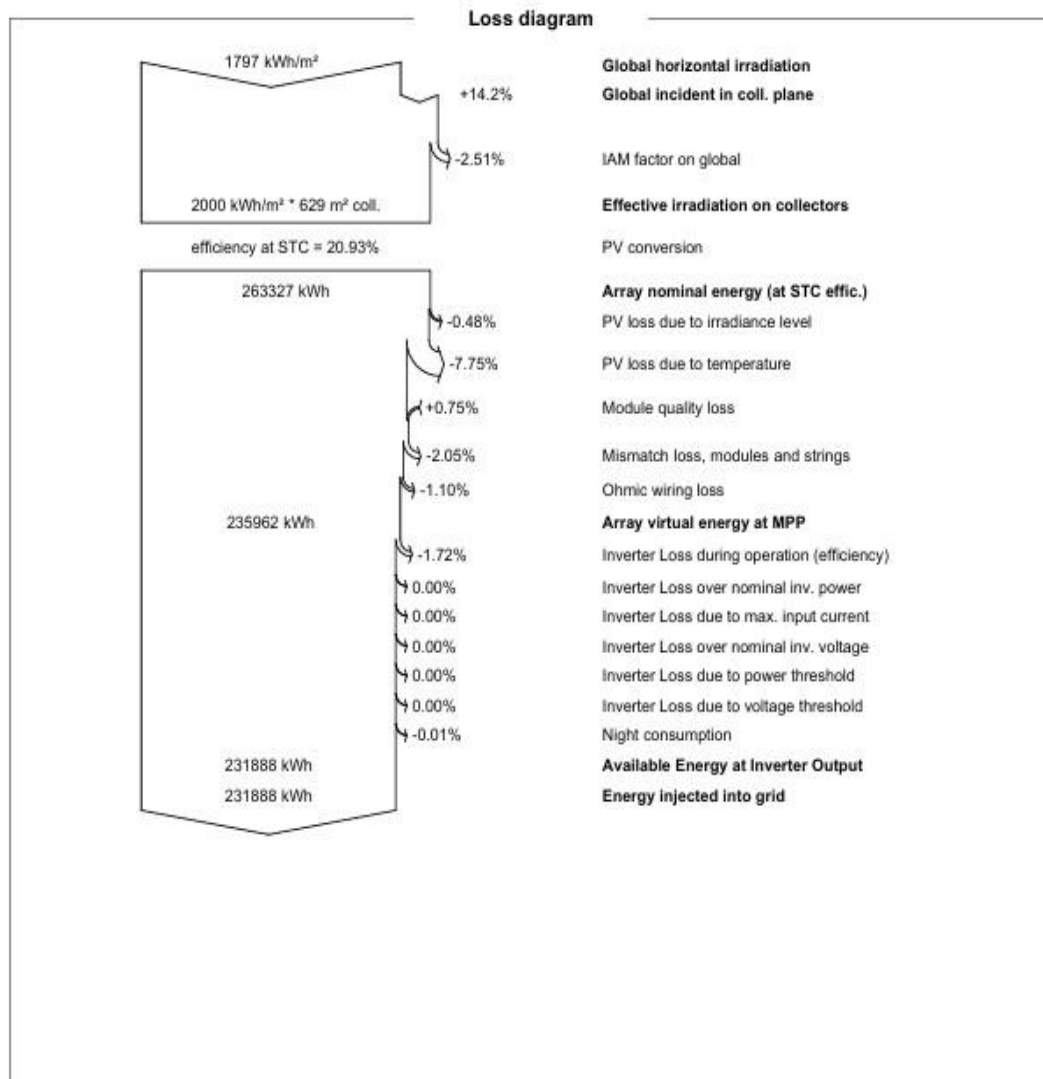


Figure (IV.8) : Diagramme de pertes connecté aux réseaux sans ombrage.

VI.4.1.5 Simulation Avec ombrage :

La figure IV.9 illustre une vue en toiture de la médiathèque, où l'installation des panneaux photovoltaïques a été planifiée sur les deux sheds du toit le plus élevé. Ce choix vise à minimiser les effets d'ombrage, tout en tenant compte des dimensions des panneaux, des sheds, de la surface disponible, ainsi que de l'orientation géographique du bâtiment.

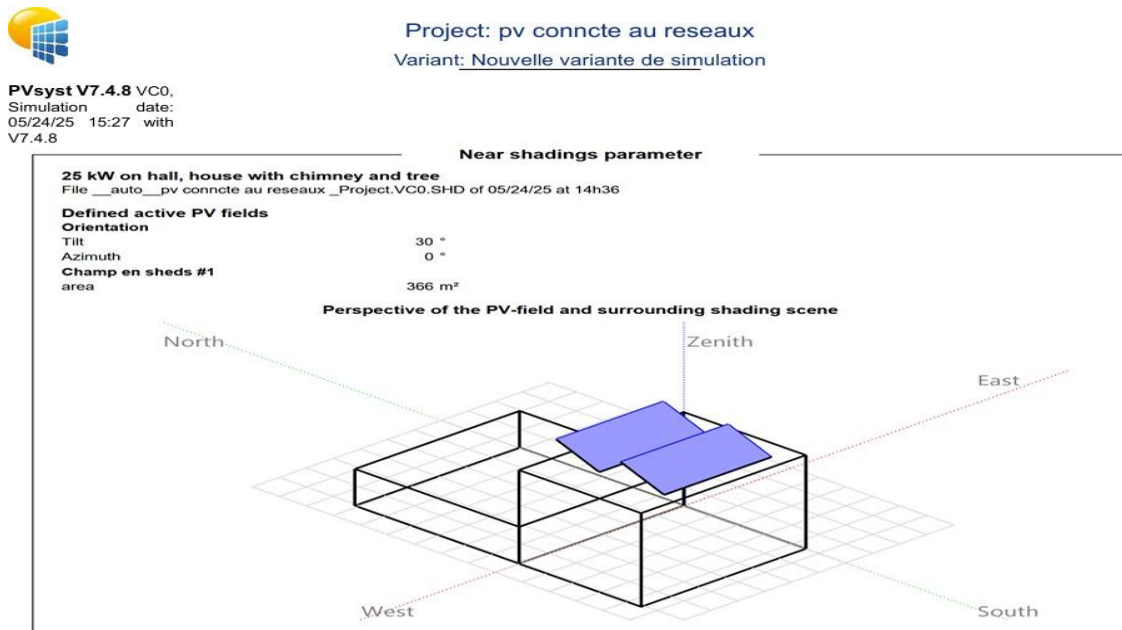


Figure (IV.9) : La scène d'ombrage 3D.

a) Perte d'ombrage :

Les ombrages ont un impact notable sur l'irradiation durant cette journée, mais l'effet reste modéré (seulement 9,9 % de pertes). La période durant laquelle cet effet est présent est relativement étendue, ce qui peut être dû à des obstacles fixes tels que des bâtiments ou des arbres situés au sud. Le solstice d'hiver signifie que le soleil reste bas tout au long de la journée, ce qui augmente la probabilité de la présence d'ombres longues.

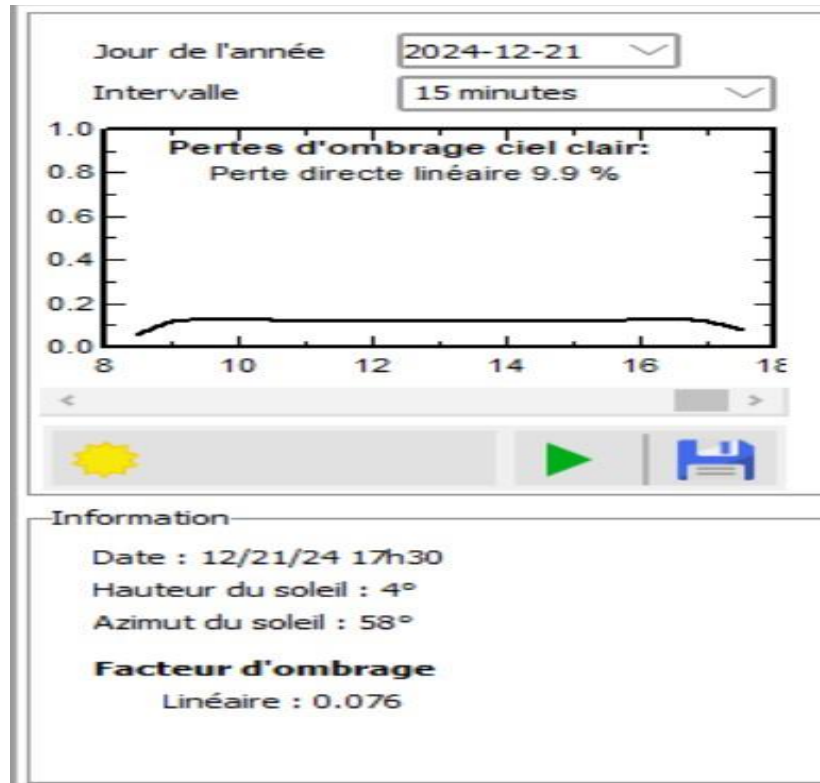


Figure (IV.10) : Perte d'ombrage.

b) Performance ratio PR :

La figure IV.12, présente le Performance Ratio (PR) de notre système avec ombrage, le PR annuel global affiché en haut à droite, il est de 82,09 %, ce qui reflète un bon rendement du système, avec une production effective proche du maximum théorique.

- Le rendement est stable, entre 80 % et 83 % tout au long de l'année.
- Les meilleurs mois sont avril et mai (environ 83 %).
- Une légère baisse en hiver (décembre, janvier), probablement due à une irradiation solaire plus faible, à des pertes thermiques accrues ou à des ombrages plus importants.

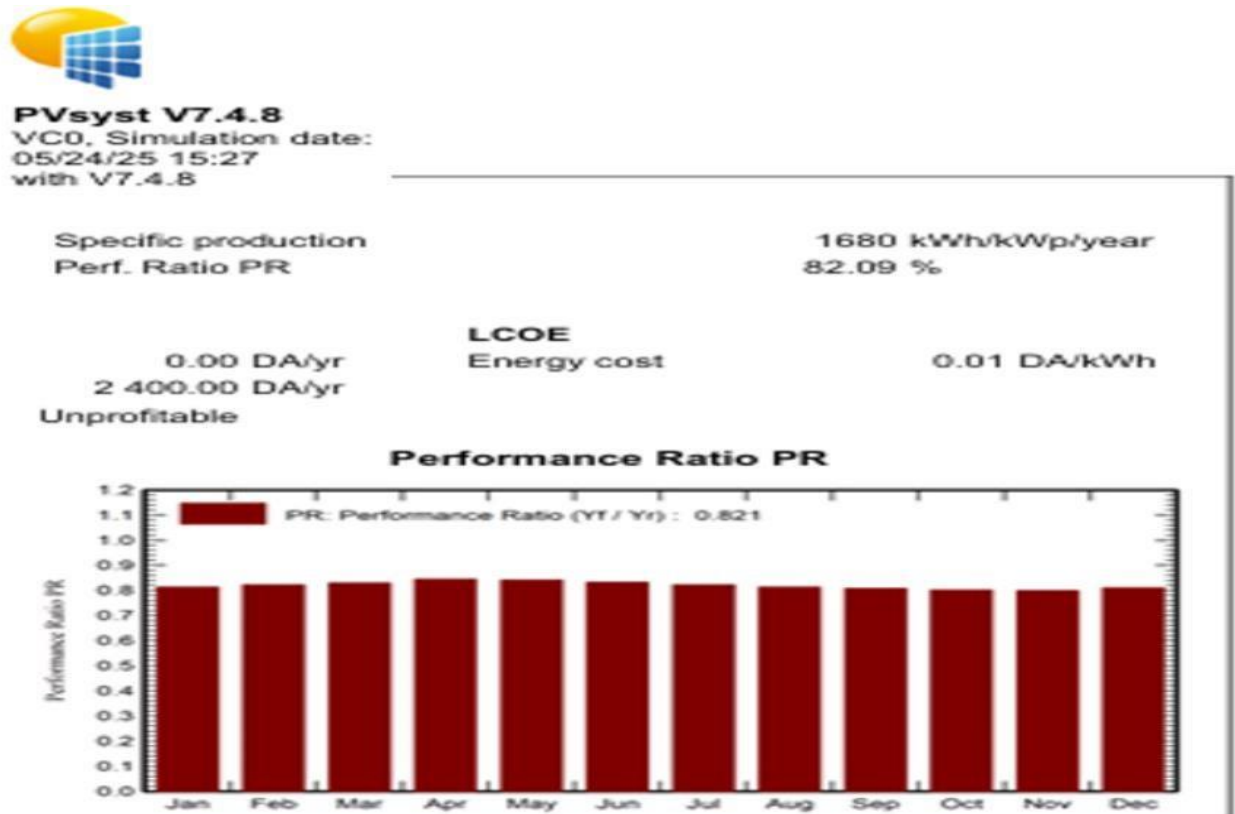


Figure (IV.11) : Performance ratio PR avec ombrage.

La comparaison des Performance ratio PR entre les deux configurations du système photovoltaïque, avec et sans ombrage, révèle des différences notables en termes de performance. Le système sans ombrage se distingue par une efficacité énergétique plus élevée, affichant un Performance Ratio (PR) globalement supérieur. À l'inverse, le système soumis à des ombrages connaît une légère diminution de rendement, particulièrement marquée durant la saison hivernale, en raison de conditions environnementales moins favorables.

c) Diagramme de perte :

Le diagramme présenté illustre les différentes étapes de perte d'énergie dans un système photovoltaïque.

1. Irradiation solaire horizontale (Global horizontal irradiation) : L'irradiation annuelle reçue sur un plan horizontal est de 1797 kWh/m², représentant la base énergétique disponible.

2. Irradiation sur le plan des modules (Global incident in coll. plane) : Grâce à l'inclinaison optimale des modules, l'irradiation augmente de +13.9%, atteignant 1988 kWh/m².

3. Pertes dues aux ombrages et à l'angle d'incidence :

- Pertes par ombrage proche : -4.84%
- Facteur IAM (Incidence Angle Modifier) : -2.58% Ces pertes diminuent la quantité réelle d'irradiation reçue par les capteurs.

4. Irradiation effective sur les capteurs (Effective irradiation on collectors) : C'est la fraction d'irradiation utile pour la conversion photovoltaïque.

5. Conversion photovoltaïque (PV conversion) : L'énergie solaire est transformée en électricité. L'efficacité sous conditions STC est de 20.93%, ce qui donne une production théorique de 246930 kWh.

6. Pertes liées aux conditions environnementales et au matériel :

- Pertes par faible niveau d'irradiation : -0.55%
- Pertes thermiques (effet de la température) : -7.24%
- Pertes dues à la qualité des modules : -0.75%
- Pertes par désadaptation entre modules et chaînes : -3.08%

7. Énergie au point de puissance maximale (MPP) : Après ces pertes, l'énergie nette disponible est de 225030 kWh.

8. Pertes de l'onduleur (Inverter losses) :

- Pertes en fonctionnement : -1.70%
- Les autres pertes liées à la tension, au courant ou aux seuils sont négligeables.

9. Énergie disponible en sortie d'onduleur : L'énergie finale injectée dans le réseau est de 221175 kWh, sans consommation nocturne ni stockage.



PVsyst V7.4.8
 VCO, Simulation date:
 05/24/25 15:27
 with V7.4.8

Project: pv conncte au reseaux
 Variant: Nouvelle variante de simulation

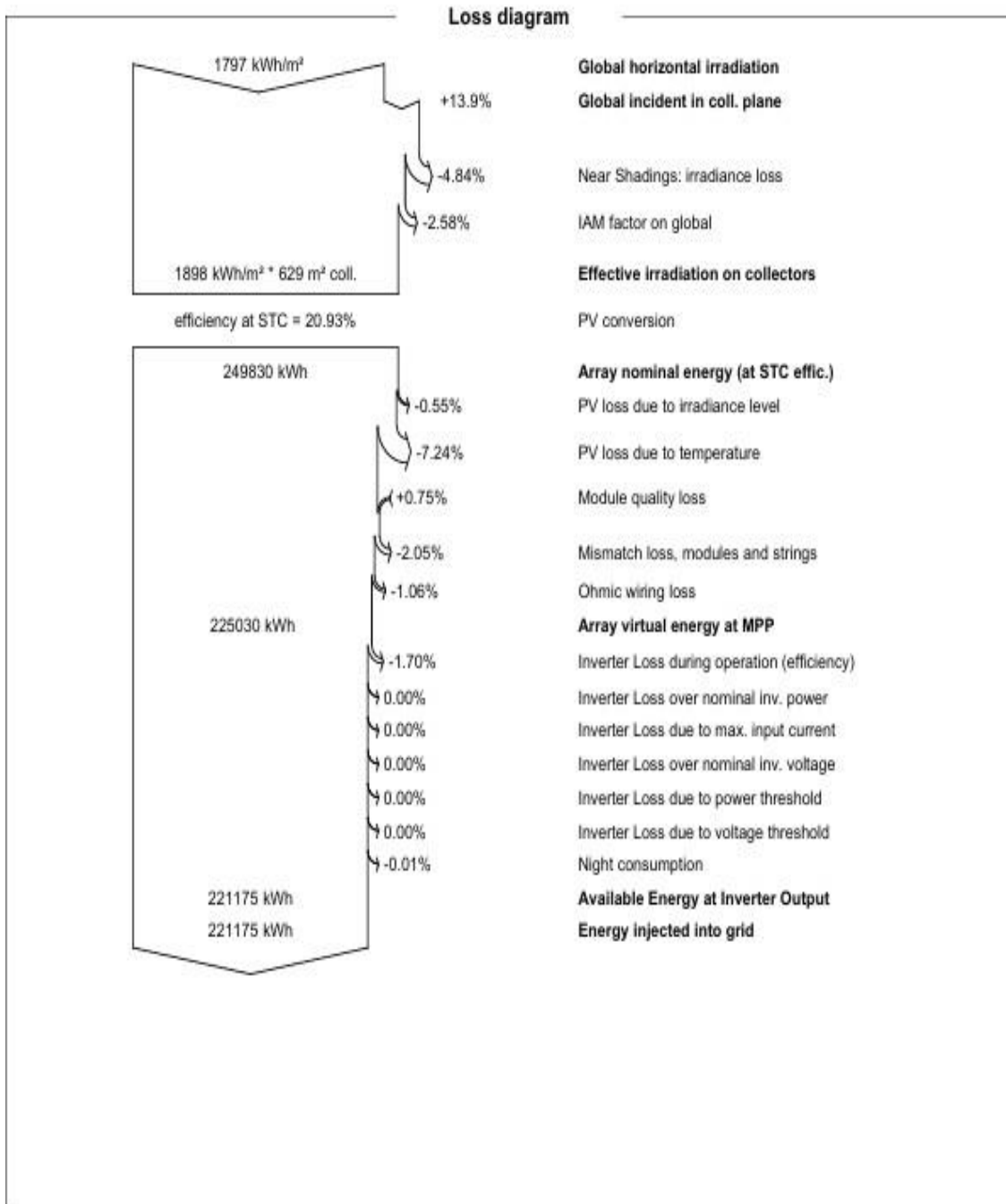


Figure (IV.12) : Diagramme de perte.

Le système photovoltaïque sans ombrage affiche de meilleures performances que celui avec ombrage. La principale différence provient des pertes par ombrage direct, inexistantes dans le premier et atteignant -4,84 % dans le second. Les autres pertes (IAM, température, câblage, onduleur) sont similaires dans les deux cas. Au final, le système sans ombrage produit 231 888 kWh/an contre 221 175 kWh/an pour le système avec ombrage, soit un écart d'environ +10 700 kWh/an en faveur du système sans obstacle. Ce résultat confirme l'impact significatif des ombrages sur la production d'énergie et le rendement global d'une installation photovoltaïque.

IV.4.2 Système autonome :

IV.4.2.1 Définition de fonctionnement de la Médiathèque pour une durée 24h :

Tableau (IV.10) : Consommation énergétique des appareils qui fonctionnent 24h de la médiathèque.

Élément	Puissance (W)	Nombre	N×P (W)	Temps (s)	Énergie de consommation (Wh/j)
Lampe LED	80	22	1760	24h	42240
Lampes carrée	60	19	1140	24h	27360
Néon	14	2	28	24h	672
Modem	541	1	541	24h	12984
camera	5	3	15	24h	360

Après une sommation on obtient l'Énergie totale : $E_c = 83616$ wh

Delà on a eu une Puissance crête de champ : $P_{ch} = 25728$ Wc

Le graphique montre une consommation électrique constante de 4 kW sur 24 heures, car tous les appareils fonctionnent en continu. Les diagrammes circulaires confirment une utilisation de 24 h/jour pour chaque équipement. Cela entraîne une surconsommation irréaliste. Il est recommandé de définir des horaires d'utilisation adaptés pour chaque appareil afin d'optimiser la consommation.

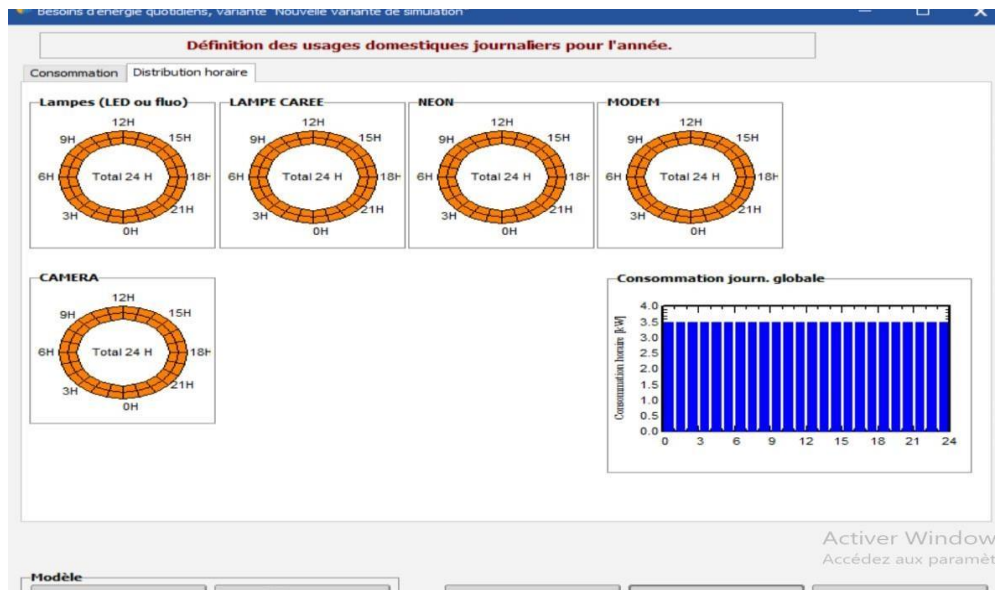


Figure (IV.13) : Graphe de la consommation journalière.

IV.4.2.2 Simulation sur PVSYST :

Pour le Stockage, on procède au choix du type de batterie ainsi que de ses caractéristiques techniques adaptées à notre installation. Le logiciel de simulation nous a permis de sélectionner le modèle Pylontech d'une tension de 48V et de capacité de 101Ah. Après avoir défini l'autonomie souhaitée (1 jours) et le taux de perte de charge acceptable (5 %), on a obtenu le nombre total de batteries qui est de 20 batteries, réparties en 2 batteries en série et 10 batteries en parallèle, assurant ainsi une tension du pack de 96V et une capacité globale de 1025 Ah.

Ce choix s'est avéré le plus adapté pour répondre aux besoins énergétiques de notre système isolé tout en optimisant le nombre de cycles et la capacité de stockage.

Procédure

1. - Pré-dimensionnement
2. - Stockage
3. - Conception champ PV
4. - Appoint

Définissez le pack de batteries

Trier les batteries selon tension capacité fabricant

Pylontech 48 V 101 Ah Li LFP US5000B 100Ah Depuis 2024

Lithium-ion La batterie sélectionnée est un module

2 modules en série
10 modules en parallèle

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

Température batterie en opération
Mode tempér. Fixée (local tempéré)
Température fixée 20 °C

Tension du pack batteries: 96 V
Capacité globale: 1012 Ah
Energie stockée (80 % DOD): 87.4 kWh
Poids total: 780 kg
Nbre de cycles à 80 % DOD: 6000
Energie totale stockée durant la vie de la batterie: 473 MWh

Figure (IV.14) : Pré dimensionnement PVSYSST.

À l'issue de la simulation effectuée à l'aide de notre logiciel (voir Figure IV.18), il a été déterminé que le système nécessite 36 modules photovoltaïques, pour une surface totale d'installation de 101 m². La configuration adoptée comprend 3 panneaux en série de 12 modules en parallèle. Un seul onduleur a été retenu, avec une puissance de 1000Wc.

Aide au dimensionnement

Pas de prédim. Pnom désirée 23.0 kWc
... ou surface disponible 0 m²

Sélection du module PV

Disponibles Tri modules par Puissance Technologie

JA Solar 590 Wp 38V Si-mono JAM78-S30-590-MR Depuis 20:

Modules nécessaires approx. 39 Dimens. des tensions : Vmpp (60°C) 38.8 V
Vco (-10°C) 58.7 V

Choisissez le mode de régulation et le régulateur

Régulateur universel Convertisseur DC-DC

Convertisseur de puissance MPPT
Courants max. de charge - décharge
MPPT 1000 W 96 V 243 A 36 A Universal controller with MPPT conve

Conception champ PV

Nombre de modules et chaînes
Mod. en série 3 doit être: Pas de contrainte
Nb. chaînes 12 entre 10 et 16

Nbre modules 36 Surface 101 m²

Cond. de fonctionnement:
Vmpp (60°C) 116 V
Vmpp (20°C) 136 V
Vco (-10°C) 176 V

Irradiance plan 1000 W/m²
Imp (60°C) 160 A
Isc (60°C) 170 A
Isc (aux STC) 169 A

Puiss. max. en fonctionnement (à irrad. max. et 50°C) 19.4 kW
Puiss. nom. champ (STC) 21.2 kWc

Figure (IV.15) : Pré dimensionnement PVSYSST.

IV.4.2.3 Rapport détaille de simulation (avec ombrage) :

Nous avons choisi ce toit de la Médiathèque comme emplacement pour l'installation des panneaux solaires, en raison de sa grande superficie qui permet une disposition optimale des panneaux (Figure IV.16). Ce toit bénéficie également d'une exposition directe au soleil pendant la majeure partie de la journée, avec très peu d'ombres, ce qui réduit l'effet de l'ombrage sur le rendement et garantit une production d'énergie solaire optimale.

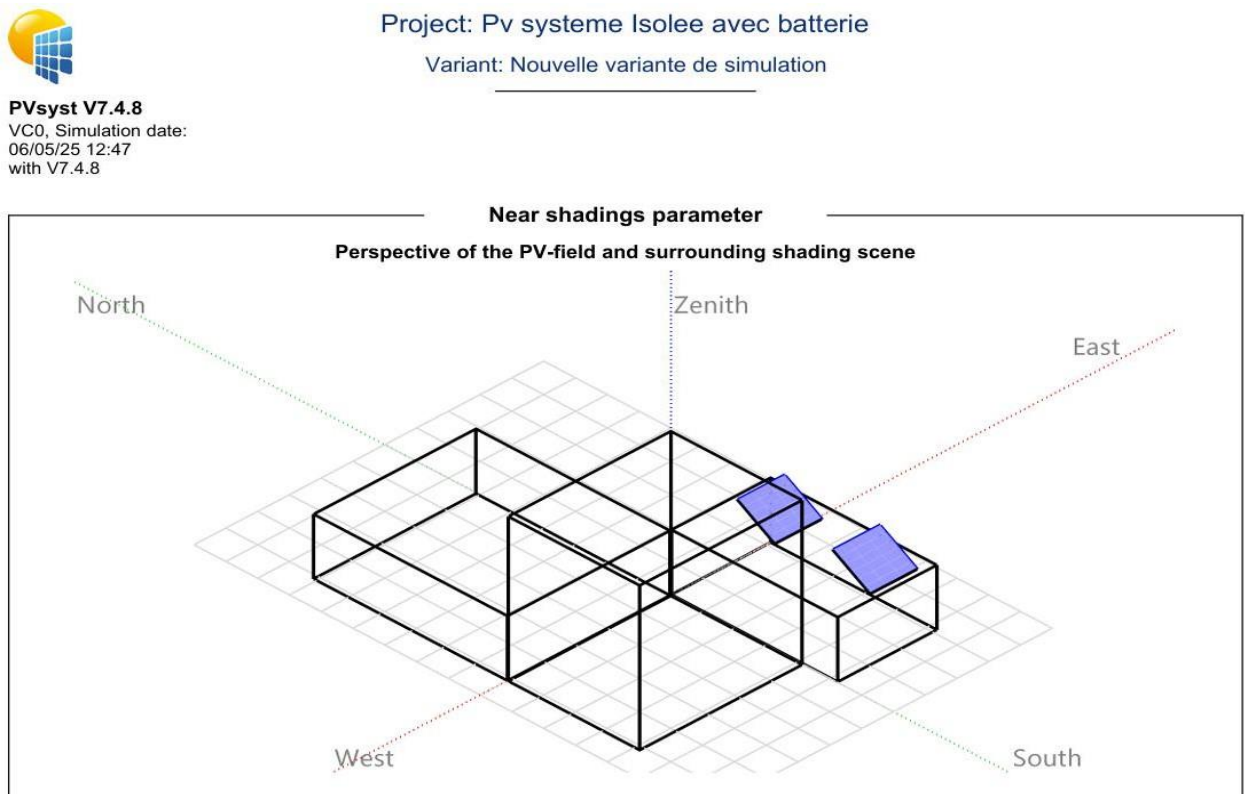


Figure (IV.16) : La scène d'ombrage 3D.

a. Perte d'ombrage :

Le 21 décembre, le système photovoltaïque note une perte d'ombrage approximative de 5,9 % par temps ensoleillé. Ces dernières se produisent généralement en fin de journée, avec un indice d'ombre de 0,5 à 17h30, lorsque l'altitude du soleil est particulièrement basse (4°). Cette mise en place hivernale souligne l'impact des ombres sur le rendement, ce qui rend essentiel l'amélioration de la localisation et de l'angle d'inclinaison des panneaux pour minimiser leurs effets.

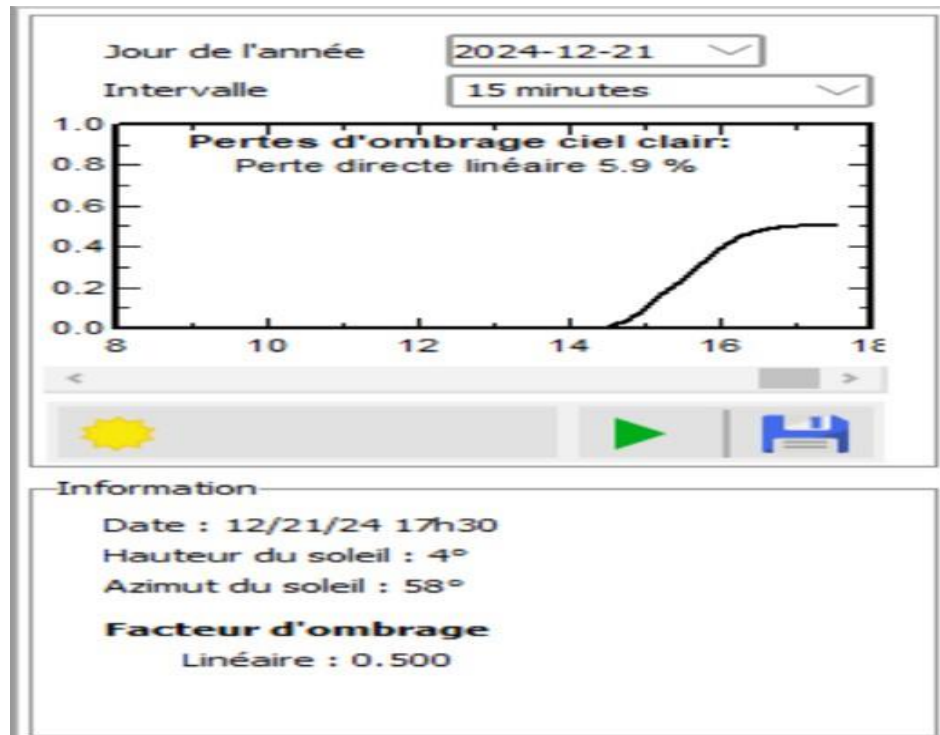


Figure (IV.17) : Perte d'ombrage.

b. Performance ratio PR :

La figure (IV.18) présente Performance ratio PR, le ratio de performance annuel est modéré, atteignant 64,23 %, ce qui suggère des pertes potentielles liées à l'installation ou aux conditions climatiques. Les performances sont plus faibles entre mars et août, malgré une bonne disponibilité solaire. L'état des batteries est excellent, avec un vieillissement limité (SOW cycles à 95,8 % et statique à 93,3 %). Globalement, le système est fiable, mais une optimisation pourrait améliorer son rendement.

Perf. Ratio PR	64.23 %
Solar Fraction SF	91.55 %
Battery aging (State of Wear)	
Cycles SOW	95.8 %
Static SOW	93.3 %

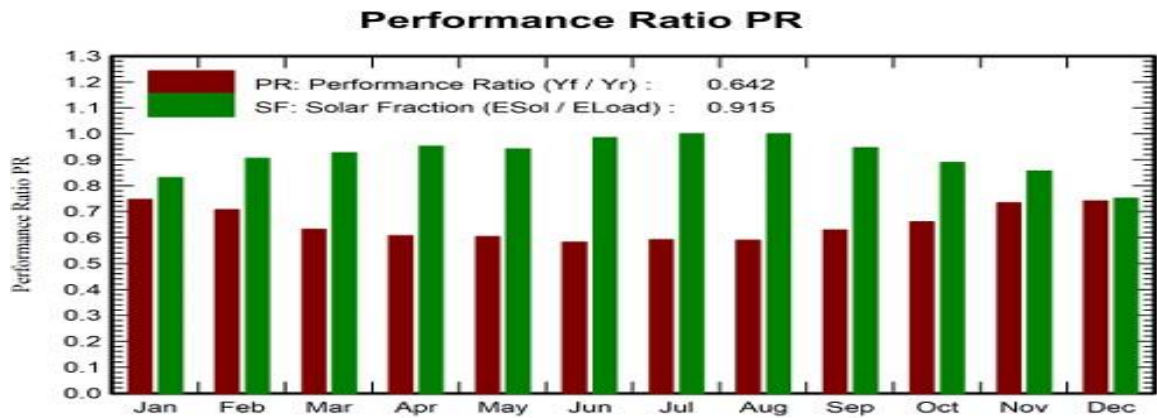


Figure (IV.18) : Performance ratio PR.

c. Diagramme de pertes :

Une amélioration des performances globales du système ne peut être atteinte qu'à travers une approche intégrée, ciblant à la fois la réduction des pertes optiques et électriques, l'optimisation des rendements de conversion, et l'adoption de solutions de stockage plus performantes et durables. Ce diagnostic détaillé constitue donc une base rationnelle pour orienter les choix technologiques futurs dans une optique d'efficacité énergétique renforcée.



Project: Pv system Isolee avec batterie

Variant: Nouvelle variante de simulation

PVsyst V7.4.8

VC0. Simulation date:
06/05/25 12:47
with V7.4.8

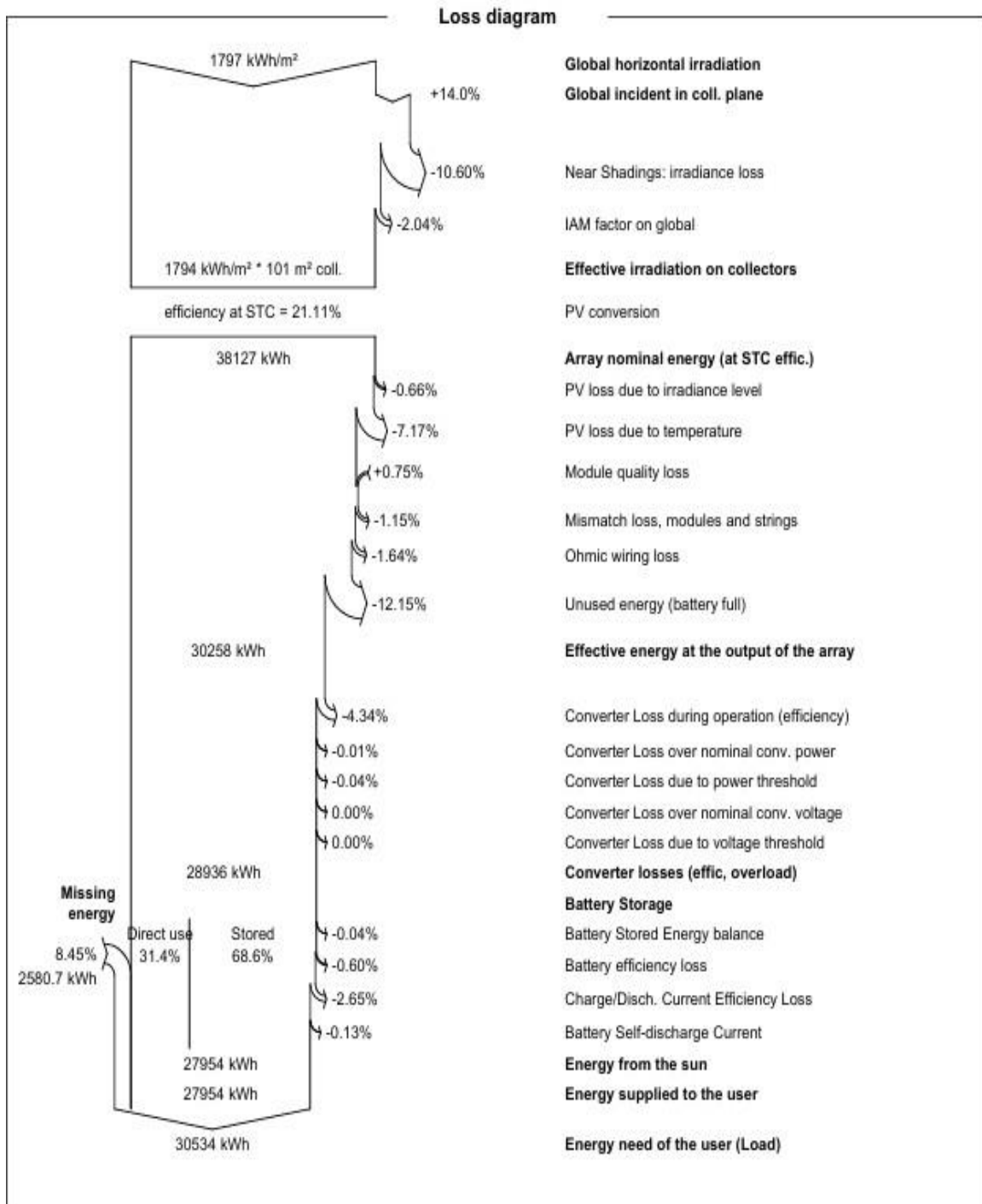


Figure (IV.19) : Diagramme de pertes.

IV.5 Dimensionnement de système photovoltaïque Théoriquement :

IV.5.1 Système Connecté au réseau :

- **Nombre des panneaux photovoltaïques :**

$$N_p = \frac{133195.61}{585} = 227$$

- **Nombre des panneaux séries :**

- Nombre minimal de modules en série $E - \left[\frac{200}{44.3 \times 0.85} \right] = 6$

- Nombre maximal de modules en série $E + \left[\frac{1000}{44.3 \times 1.06} \right] = 21$

Suite aux calculs effectués pour déterminer le nombre de panneaux solaires en série, nous avons obtenu un intervalle de valeurs admissibles compris entre 6 et 21 panneaux. Afin d'optimiser le dimensionnement du système et de se rapprocher au mieux des résultats fournis par le logiciel de simulation PVSYST, nous avons opté pour l'installation de 15 panneaux solaires en série.

- **Nombre des panneaux en parallèles :**

$$N_p = \frac{227}{15} = 15$$

IV.5.2 Système autonome :

- **la capacité de Système :**

D'après le tableau la tension de champs = 96v

$$C_{\text{sys}} = \frac{83616 \times 1}{0.8 \times 96} = 1088.75 \text{Ah}$$

- **Nombre des batteries en parallèles :**

$$N_{Bp} = \frac{1088.75}{101} \approx 10$$

- **Nombre des batteries en séries :**

$$N_{BS} = \frac{96}{48} = 2$$

➤ **Nombre des panneaux photovoltaïques :**

$$N_{PT} = \frac{25728}{585} \approx 36$$

➤ **Nombre des panneaux séries :**

- Nombre minimal de modules en série E+= $\left[\frac{90}{44.3 \times 0.85} \right] \approx 3$

- Nombre maximal de modules en série E-= $\left[\frac{160}{44.3 \times 1.06} \right] \approx \text{erreur}$

➤ **Nombre des panneaux en parallèles :**

$$N_p = \frac{36}{3} \approx 12$$

Concernant le nombre de panneaux solaires connectés en série, on constate qu'il y a pas un intervalle et que le nombre est constant est égale à 3 panneaux ce qui est approuvé aussi par le calcul PVSYS. Pour le nombre de panneaux solaires connectés en parallèle 12.

IV.6 Étude Technico-économique du Système (Connecté au réseau et Autonome) :

Le prix de l'équipement utilisé pour l'étude économique sont obtenus auprès des entreprise fabricants en Algérie : CONDOR, ALGERIA SOLAR COMPANYY.

Désignation	Caractéristique	Quantité	Prix unitaire DZD	Mentant DZD
Module monocristalline	585Wc-38V	261	28000	7308000
Support pour les modules	/	261	2000	522000
Câbles et divers	/	261	1000	261000
Régulateurs	VMMP=1000W V=96V	1	14000	14000
Batterie	V=48v Capacité=101 Ah	20	135000	2700000
Onduleur	VMMP _{min} =200v VMMP _{max} =1000v	1	12000	12000

Cout totale	/	/	/	10817000
-------------	---	---	---	----------

Le Tableau montre que le cout total de ce système est de **10817000** DZD

D'après les résultats obtenus, la durée d'amortissement du projet est estimée entre 20 et 25 ans. Étant donné que la durée de vie des batteries est d'environ 10 ans, celles-ci devront être remplacées deux fois au cours de la période du projet.

La formule retenue pour le calcul du coût total est :

Coût total = Investissement initial + Coût d'exploitation et de maintenance + Coût de la main-d'œuvre + Coût de remplacement

Cout total = 10817000 + 67400 + 15000 + 500000

Cout total = 11399400 DZD

L'analyse économique aboutit à un coût total du projet estimé à **11399400** DZD.

Toutefois, l'amortissement de l'investissement initial ne peut être réalisé sur une période de 20 ans, bien que la durée de vie des modules photovoltaïques soit comprise entre 20 et 25 ans.

Ce constat traduit une rentabilité limitée du projet dans le contexte actuel. Par conséquent, le coût actualisé de l'énergie solaire produite reste supérieur au tarif de l'électricité conventionnelle proposé par Sonelgaz, ce qui rend le projet économiquement moins compétitif à court et moyen termes.

IV.7 Conclusion :

En conclusion, cette étude a permis d'évaluer et de comparer deux configurations d'un système photovoltaïque, à travers l'utilisation du logiciel PVSYST et de calculs théoriques détaillés. Les résultats ont démontré la complémentarité entre la simulation numérique et les estimations manuelles pour garantir la cohérence et la fiabilité des données techniques.

La configuration interconnectée au réseau s'est révélée efficace pour réduire la dépendance énergétique, tandis que le système en site isolé avec batteries a mis en évidence les contraintes spécifiques liées au stockage et à la gestion de l'autonomie énergétique.

Par ailleurs, l'analyse économique réalisée a montré que, si le système isolé nécessite un investissement initial plus important, il offre une indépendance énergétique totale, alors que le système raccordé au réseau permet un retour sur investissement plus rapide grâce à la réduction immédiate des coûts d'électricité.

Ainsi, cette étude confirme l'importance d'un dimensionnement précis, adapté aux besoins, aux conditions locales et aux contraintes économiques du projet. Elle souligne également que l'intégration conjointe d'outils de simulation, de méthodes théoriques et d'analyses économiques constitue un levier essentiel pour garantir la fiabilité, la rentabilité et la pérennité des systèmes photovoltaïques conçus.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale :

Cette étude a mis en évidence l'importance des systèmes photovoltaïques sur les plans technique, environnemental et économique, démontrant que l'investissement dans ce type d'énergie renouvelable représente un choix stratégique à long terme.

L'installation d'un tel système ne permet pas seulement de réduire la consommation d'électricité du réseau public, mais elle contribue également à ancrer une culture de développement durable au sein de la communauté universitaire, faisant de l'institution un modèle dans l'adoption de solutions énergétiques propres.

Au début nous avons présenté les types des énergies renouvelables, nous avons basé sur l'énergie solaire photovoltaïque comme source pour la production de l'énergie électrique. Dans notre travail, nous nous sommes appuyés sur certaines études antérieures dans ce domaine qui contiennent les différents types des méthodes de dimensionnement pour avoir quelques idées afin de proposer une méthode optimale de dimensionnement.

Nous avons aussi présenté une description générale pour logiciel PVSYST et leurs composants (module, batterie, onduleur et régulateur ...).

Suite à la modélisation théorique du système solaire photovoltaïque et de ses éléments (calcul manuel en suivant les lois), ainsi qu'à l'exécution du calcul pratique (utilisation du logiciel PVSYST), nous avons remarqué que presque toutes les deux approches convergentes pour ce qui est des résultats.

En conclusion, il est recommandé d'étendre ce type d'initiatives à d'autres infrastructures universitaires, tout en poursuivant la recherche sur l'optimisation des performances des systèmes photovoltaïques grâce à une utilisation judicieuse des technologies modernes, des logiciels de simulation et des outils de conception.

Bibliographie

Bibliographique

Bibliographie :

- [1] Badja M, Belkacemi A.« Dimensionnement d'une installation solaire photovoltaïque a TAMDA (bloc ST) »Master 2023, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU.
- [2] Azazi Amina. «Modélisation optimisation d'un système de production d'énergie Photovoltaïque avec un système de stockage hybride» doctorat 2019, Université BADJI MOKHTAR –ANNABA.
- [3] BOUACHA A, KHEROUF.«L'ENERGIE PHOTOVLTAIQUE»licence2020-2021, Université BADJI MOKHTAR ANNABA.
- [4] Alayat M Boucetta I.« Maximisation de la production d'un système photovoltaïque à base de MPPT soumis à des éclairagements différents»Master2017, Université BADJI MOKHTAR –ANNABA.
- [5] BAHLOULI N, ALLAGUI S.« Energie photovoltaïque», Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master2023-2024, Université BADJI MOKHTAR ANNABA.
- [6] R Kiady Mampionona.« Les énergies renouvelables : Un levier du développement pour Madagascar»Mémoire de Maitrise2016, UNIVERSITE D'ANTANANARIVO.
- [7] Bendali Braham Mounir, Khelif Mahdi.«Étude et simulation d'une chaine de production photovltaique»Master2018, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR- ANNAB.
- [8] G Moustafa, D Ali, G Mohamed. « Dimensionnement d'une installation PV pour alimenter une unité industrielle»Master2022, UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA.
- [9] D Abdelouhab, B Mansour.« Etude d'une installation photovoltaïque pour une habitation domestique»Master2021, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGL.
- [10] Z Soufiane, B Slimane.« Étude et Dimensionnement d'un centrale Photovoltaïque»Master2020, Université Mohamed Khider de Biskra.
- [11] C DJILI, KFAREB.« Etude d'impact d'une centrale photovoltaïque sur un réseau électrique»Master2017, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU.
- [12] K Sofiane, B Salah.« Calcul et dimensionnement électrique d'une mini centrale photovoltaïque autonome», Master2019, ECOLE SUPERIEURE EN SCIENCES APPLIQUEES Tlemcen.
- [13] Sarah BELAIDI.« Étude et optimisation d'une installation photovoltaïque autonome», Mémoire de Fin d'Étude de MASTER ACADEMIQUE 2016, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

Bibliographique

[14] H Oum Elkhair, B Meriem.« Conception ET Réalisation d'un Système de Poursuite de la Trajectoire du Soleil Bi-axial à Base des Capteurs de Lumière»Master2017, Université Kasdi Merbah Ouargla.

[15] ZI Yahia, T Mohand Said.« Contrôle ET optimisation intelligente du moteur synchrone à aimants permanents pour un système de pompage d'eau photovoltaïque»Master2023, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA.

[16] I Syphax, B Islam.« étude et dimensionnement d'une maison à énergie solaire»MASTER2020, Université Abderrahmane Mira de Bejaïa.

[17] G Eddine, B Med Said.« Étude de L'influence de l'angle d'inclinaison de panneau solaire sur le rendement d'un système PV en zone de Ouargla»MASTER2017, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA.

[18] C Farida, G Naima.« Dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome » Master2018, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

[19] Ali ZAHIA « Étude de l'influence de la température sur la puissance de la cellule photovoltaïque»Master2021, Université Mohamed El Bachir Elibrahimi –Bordj Bou Arreridj.

[20] SAOULI SARA, « étude des caractéristiques courant Tension d'une cellule de silicium».

Université BBA.

[21] D Larbi, B Bachir.« Dimensionnement d'un Système de Pompage Photovoltaïque»Master2017, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA.

[22] G Abdennour Gh Nasreddine «Etude du Stockage de l'Energie Solaire photovoltaïque sous forme d'air comprimé»Master 2022 Université Kasdi Merbah Ouargla

[23] Melle TRAHY Fatiha. « Application pour le dimensionnement d'une installation photovoltaïque pour l'alimentation du laboratoire de recherche LAMPA» MEMOIRE DE MAGISTER 2011, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

[24] Programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique », Ministère de L'énergie et des Mines, mars 2011.

[25] Souileh rafik, Herizi khaoula.« Etude de l'influence de situations géographiques sur le dimensionnement des systèmes photovoltaïques»Master2022, Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj.

[26] AnneLabouret, Michel Viloz, « Conception et dimensionnement d'installations Photovoltaïques raccordées au réseau» 5eme édition Paris, 2012 p9, ISBN 978-2 10-057247-2.

Bibliographique

- [27] H ZAKARIA.« alimentation d'un ascenseur par l'énergie solaire»,Master 2018, UniversitéDjilali Bounaama Khemis Miliana.
- [28] K. Benlarbi ||Optimisation Floue, neuronale et neuro-floue d'un système de pompage Photovoltaïque entrainées par différents machines électrique » Thèse de Magister Université de Batna 2003.
- [29] J .Royer, T.Djiako, E.SCHILLER «le pompage photovoltaïque» manuel de cour a L'intention des ingénieurs et techniciens bibliothèque national de CANADA 1998.
- [30] P-E.JANOLIN, « De l'effet photovoltaïque aux cellules photoélectriques » Techniques de l'Ingénieur, AF 6 240.2013, Paris.
- [31] L Mohamed & Z Bahous,« Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque connecté au réseau de distribution»Master 2018 . UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET
- [32] S.De Vecchi, « Développement de cellules photovoltaïques à hétérojonction de silicium et contacts interdigités en face arrière », Thèse de doctorat, INSA, Lyon.2013.
- [33] M Hanine,H Lynda, «Contribution a l'étude d'un système photovoltaïque »Master 2018, Universite Colonel Akli Mohaned –Oulhadj Bouira
- [34] F seif eddine Soltani fatma H billel,« Etude et simulation d'un générateur photovoltaïque en site isolé»Mastwr 2021 , UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR – ANNABA .
- [35] SAADI SOUAD, Thèse de magistère en physique « Effet Des Paramètres Opérationnels Sur Les Performances D'un Capteur Solaire Plan » Université Mentouri De Constantine 2010.
- [36] Z. Achref eddine, S.Mehdi. « les Systems photovoltaïques connectes au réseau» Master 2017 , UNIVERSITE BADJI MOKHTAR Annaba .
- [37] H.O.Boucler « Modélisation et commande d'un système de stockage photovoltaïque », Mémoire de Magister,Université Abou-BakrBelkaid, Tlemcen.,2011
- [38] A. zahra, C. Imane , B. Ahmed. « Modalisation et simulation d'un système photovoltaïque adapté par la commande MPPT»,Master 2020 , Université salhi Ahmed – Naama.
- [39] B.Mhenna ,G.Ferhat. « Alimentation d'un moteur à courant continu par une source photovoltaïque» Master 2018, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou .
- [40] Azzedine, B. and M. Meziane, «Dimensionnement et conception d'une installation photovoltaïque pour la FGEI et optimisation de la consommation». 2017, Université Mouloud Mammeri.

Bibliographique

- [41] Société française de chimie : L'actualité chimique, l'hydrogène, carburant de demain n°12, décembre 2001.
- [42] H. Med SEIF EDDINE, N. IYAD« Etude et commande d'un système solaire photovoltaïque», Master 2021 , UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA .
- [43] Di.Marwane , M. MohammedRyad,« Simulation et Commande d'un panneau solaire en régime de défaut» Master 2020 , Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent.
- [44] bp solar, Décembre 2000
- [45] Seif Eddine. N, Dimensionnement et commande d'un hacheur parallèle alimenté par une source photovoltaïque, Mémoire de master, Université de Monastir, Tunisie, 2012.
- [46] P. STEPHANE , «Nouvelles architectures distribuées de gestion et conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques », Thèse de doctorat ,2009.
- [47] CH.Adem, B. Mohammed Ilya« MAXIMISATION DE PUISSANCE D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE PAR LA LOGIQUE FLOUE» Master 2021 , Université 8 Mai 1945 – Guelma
- [48] O.BENSEDDIK et F.DJALLOUD « Etude et optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque »Mémoire de Master Université Kasdi Merbah-Ouargla 27/06/2012.
- [49] : BOUALEM, DENDIB, "Technique conventionnelles et avancée de poursuite MPPT pour des applications photovoltaïque : étude comparative.", Université Ferhat Abbes-Sétif Mémoire deMagister, Département d'électronique, 2007.
- [50] B. Nordie , M. Seif Eddine« Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT» Master 2018 . UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-Annaba.
- [51] M.Tamader ,A.Merouane,« Contribution à la gestion d'énergie d'un système renouvelable : panneau photovoltaïque / batterie» , Master 2023 , UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
- [52] biblus.accasoftware.com
- [53] B. Hadjer , B. Abdelilah, « MODÉLISATION ET OPTIMISATION D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE D'UNE MOSQUÉE» Master 2020 UNIVERSITÉ IBN KHALDOUN DE TIARET.
- [54] T. Nihed, K. Iskandar , « ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE ET SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE AUTONOME» Master 2020 Université Badji Mokhtar – Annaba.
- [55] www.voltimum.fr/articles-techniques/cables-solaires-comment-sont

Bibliographique

- [56] I.Amin, B.Mahiaeddine«Etude d'une centrale solaire photovoltaïque », Master 2021 , Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila
- [57] B Arezki, C Aghiles.« Dimensionnement d'une Centrale Photovoltaïque Autonome de 16 kW» Master2016, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU.
- [58] C.Zidani ,F.Benyarou et B.Benyoucef.« Simulation de la position apparente du soleil et estimation des energie solaires incidentes sur un capteur plan pour la ville de Telemcen en Algerie», Rev .Energ .Ren .Vol 6(2003)69-76.
- [59] ANISS YAKER, BELKACEM BELAID, " Dimensionnement d'une centrale photovoltaïque autonome ", Mémoire de Master Electrotechnique, UMMTO 2015.
- [60] A.Idlimame ,"Etude theorique d'un systeme de sechage des peaux et des cuirs pour la region de Marrakech constitue d'une serre agricole jouant le role de generateur solaires d'air chaud et d'un sechoir conventionnel " These de 3^e eme cycle , E.N.S Marrakech,1990.
- [61] Yanis PRUNIER.« Optimisation de l'orientation d'un panneau photovoltaïque» Mémoire de maitrise 2023, UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE ((Québec) Canada.
- [62] SunEarthTools. Calculation of sun's position, 2023
- [63] W. Möser and E. Raschke, _Mapping of Global and Cloudiness from Meteosat Data Meteor', Rundsch, 36, pp. 33-41, 1983.
- [64] N. Bachari, N. Benabadi, A. Razagui et A. H. Belbachir.« Estimation et Cartographie des Différentes Composantes du Rayonnement Solaire au Sol à Partir des Images Météosat»,Rev. Energ. Ren. Vol. 4 (2001) 35-47.
- [65] B.Houusam, K.Amar , «Etude de l'effet de l'ombrage sur un système photovoltaïque » Master 2015, UNIVERSITE SAAD DAHLAB de Blida.
- [66] FORMATION SUR LES ÉTUDES DE FAISABILITÉ TECHNICO- ÉCONOMIQUE DES PROJETS PHOTOVOLTAÏQUES RACCORDÉES AU RÉSEAU.
- [67] M. R. NEBBALI. «Étude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque» Master2017, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.
- [68] S. Brigand, « Les principes de l'énergie solaire photovoltaïque », complément technique, Techniques de construction, www.editiondumoniteur.com,Mars-Avril 2008.
- [69] D.L.Evan s, «Simplified methode for predicting arrayoutput»,SolarEnergy,27,555-560,1981.
- [70] MAHMOUDI Sabrina, RABEHI Saliha. «Etude de conception d'un système photovoltaïque autonome» master 2018, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.
- [71] Ouanoughi, B. (2016). Optimisation de l'irradiation solaire sur le plan des capteurs photovoltaïques à structure porteuse statique. Université de M'sila.

Bibliographique

- [72]: Ali, D. (2017). Évaluation des pertes dues à l'orientation et à l'inclinaison des capteurs solaires photovoltaïques. Université Mohamed Boudiaf - M'sila.
- [73] : Kecili, I. (2023). Étude des performances d'un panneau solaire photovoltaïque orienté et refroidi par air. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [74] Terre solaire.net- Orientation des panneaux photovoltaïque
- [75] BlogPhotovltaique.fr-Orientation et inclinaison
- [76] Adolf Goetz Berger and Volker Uwe Hoffmann. Photovoltaic Solar Energy Generation. Springer Science & Business Media, March 2005. Google-Books-ID : _CMAP7VZ3xwC.
- [77] A. Labouret, M. Viloz, « Energie solaire photovoltaïque », 3eme édition, Edition Dunod 2005.
- [78] Abdelkader BOUCHARBEB.« Etude et dimensionnement optimale d'un système photovoltaïque autonome » 20/06/2023, Université de Ghardaïa.
- [79] DEHIMI Narimane BOUBIR Alla Eddine.« Conception d'une centrale photovoltaïque en milieu isolé»master 2023-2024, Université Badji Mokhtar – Annaba.
- [80] ADEME. (2020). Guide de l'énergie : Évaluer ses besoins énergétiques pour un projet autonome. ADEME.
- [81] Masters, G. M. (2013). Renewable and Efficient Electric Power Systems (2nd ed.). Wiley-IEEE Press.
- [82] B Hadjer , B Abdelilah.« MODÉLISATION ET OPTIMISATION D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE D'UNE MOSQUÉE», Master 2019-2020, UNIVERSITÉ IBN KHALDOUN DE TIARET.
- [83] C Abdelkrim, H Aymen .«Dimensionnement photovoltaïque des besoins énergétiques pour une ferme piscicole» Master 2023, ECOLE SUPERIEURE EN SCIENCES APPLIQUEES TLEMCEN.
- [84] D Abdelouhab, B Mansour.«Etude d'une installation photovoltaïque pour une habitation domestique» MASTER ACADEMIQUE 2021, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA.
- [85] Project DEMO-Stand-alone system at Dakar.
- [86] Mr Benmeddah Sid ahmed , Mr Mokhtari Djawad. «Dimensionnement Technique D'une Installation Photovoltaïque D'un Département Administrative UBBAT» Master 2022-2023, Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib.
- [87] Lydia AMMAD. «Dimensionnement et Simulation par PVsyst d'une Habitation Située à Mostaganem Alimentée par Panneaux Photovoltaïques» MASTER ACADEMIQUE 2024, UNIVERSITÉ MOULOU MAMMERI DE TIZI-OUZOU.

Résumé :

Ce mémoire porte sur le dimensionnement d'un système photovoltaïque destiné à alimenter la médiathèque de l'Université de Aïn Témouchent. Dans un premier temps, une revue générale des énergies renouvelables est présentée, avec un accent particulier sur l'énergie photovoltaïque et le principe de fonctionnement des cellules solaires. L'étude se poursuit par une description détaillée des différents composants d'un système photovoltaïque, notamment les panneaux solaires, les batteries et les onduleurs.

Afin d'évaluer les performances du système, des simulations ont été réalisées à l'aide du logiciel PVSYST. Ces simulations ont permis d'obtenir des courbes de production, d'analyser le rendement spécifique annuel ainsi que l'efficacité globale du système. L'étude prend également en compte les paramètres météorologiques du site d'installation, tels que l'ensoleillement et la température ambiante, qui influencent directement la performance de l'installation.

Enfin, une estimation économique du projet a été effectuée afin d'évaluer sa faisabilité et sa rentabilité. Cette étude vise ainsi à démontrer l'intérêt technique et économique de l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque dans le secteur universitaire.

Mots clés : installation photovoltaïque (PV), la médiathèque de l'Université de Aïn Témouchent , cellule photovoltaïque , logiciel PVSYST, estimation économique.

Abstract:

This thesis focuses on the design and sizing of a photovoltaic system intended to supply electricity to the media library of the University of Ain Témouchent. The study begins with a general overview of renewable energy sources, with a particular emphasis on photovoltaic (PV) energy and the operating principle of solar cells. A detailed description of the various components of a PV system—such as solar panels, batteries, and inverters—is then provided.

To assess the system's performance, simulations were carried out using the PVSYST software. These simulations allowed us to generate production curves and analyze key indicators such as the annual specific yield and overall system efficiency. The study also considers meteorological conditions at the installation site, including solar irradiance and ambient temperature, which directly affect the system's performance.

Finally, an economic assessment of the project was conducted to evaluate its feasibility and profitability. This work thus aims to demonstrate the technical and economic viability of using photovoltaic solar energy in the university sector.

Keywords: photovoltaic installation(PV) , the media library of the University of Ain Témouchent , photovoltaic cell , the software PV system , economic estimate

المخلص :

يتناول هذا البحث دراسة وتصميم نظام كهروضوئي لتزويد مكتبة جامعة عين تموشنت بالطاقة الكهربائية. يبدأ العمل بعرض عام حول مصادر الطاقة المتجددة، مع التركيز على الطاقة الشمسية الكهروضوئية ومبدأ عمل الخلية الشمسية. كما يتناول البحث شرحاً مفصلاً لمكونات النظام الكهروضوئي، مثل الألواح الشمسية، والبطاريات، والمحولات.

ولتحليل أداء النظام، تم إجراء محاكاة باستخدام برنامج **PVSYST**، حيث تم استخراج المنحنيات الإنتاجية وتحليل مؤشرات الأداء مثل الإنتاجية السنوية المحددة وكفاءة النظام الكلية. كما يأخذ البحث في الاعتبار الظروف المناخية لموقع التركيب، بما في ذلك الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة، لما لهما من تأثير مباشر على أداء المنظومة.

وفي الختام، تم تقديم دراسة اقتصادية للمشروع لتقييم جدواه وربحيته. يهدف هذا العمل إلى إبراز أهمية جدوى استخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية في القطاع الجامعي من الناحيتين التقنية والاقتصادية.

الكلمات المفتاحية: محاكاة التركيب الكهروضوئي، الخلية الكهروضوئية، مكتبة جامعة عين تموشنت، برنامج **PVSYST**، تقديرا اقتصاديا.