

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



Faculté de Technologie
Département de Génie Mécanique

Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme de Master en :

Filière : Génie mécanique
Spécialité : Energétique

THEME

**Etude de faisabilité d'installation d'une centrale
photovoltaïque sur la toiture des ateliers
mécaniques (Ex INGM)**

Présentée par :

M^{lle} Hammadache Amina

M^{lle} Soffah Fatma Zohra

Suivi par :

Promoteur : Mr A BOUBENIA

Promotion 2023- 2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciement

Avant tout, el hamdoullah de nos avoir donné courage, patience et force durant toutes ces années d'étude et que grâce à dieu ce travail a pu être réalisé.

Un grand merci à notre Examineur monsieur **MOHAMMEDI Kamal**

Et notre promoteur monsieur **BOUBENIA AHMED** qui nous a beaucoup aidé, soutenu et nous a permis d'arriver à ce niveau-là et pour ses excellents conseils et surtout pour son temps passé avec nous et sa patience, sans lui en n'aurait pas pu réaliser ce modeste travail et pour sa confiance en nous.

Nos respectueux remerciements à l'ensemble des membres du jury pour l'intérêt porté sur notre travail, nous remercions aussi tous nos familles et les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Fatma Zohra et Amina



Dédicace

Je dédie ce projet de fin d'étude :

À mes parents, qui m'ont toujours soutenu et encouragé dans mes études.

À mes chères sœurs

À mes amis, qui ont rendu mon parcours universitaire si agréable.

À mon directeur de recherche, pour ses précieux conseils et sa bienveillance.

Hammadache Amina



Dédicace

*Je dédie ce travail aux deux plus chères personnes au monde
qui Sont mes parents.*

à mes frères et mes sœurs.

*A toute ma famille sans oublie mes
chère amis.*

Et à tous ceux et celles qui m'ont soutenu.

Soffah fatma Zohra

Résumé

Dans le domaine de l'énergie électrique, les alternatives peuvent inclure des sources d'énergie renouvelables telles que le solaire, l'éolien, la géothermie et la biomasse. Dans cette recherche, nous avons abordé le type d'énergie solaire photovoltaïque (PV) et nous nous sommes concentrés sur la performance des panneaux PV pour résister aux pannes de courant sur les machines dans les ateliers mécaniques.

Nous avons donc d'abord essayé d'estimer la demande de puissance de l'utilisateur et, à l'aide du logiciel, nous avons divisé deux installations (autonome et connectée au réseau) pour déterminer le nombre de panneaux et le nombre de batteries.

Leurs caractéristiques et leurs régulateurs sont pris en compte. Les éléments de base des installations photovoltaïques, donc à la fin nous avons considéré la division économique des deux systèmes.

D'après les résultats obtenus par simulation, nous avons remarqué que l'installation PV connectée au réseau permet d'obtenir un résultat plus rentable par rapport au système autonome.

Mots clés : logiciel PV système, logiciel SketchUp, logiciel Matlab Simulink, panneau solaire photovoltaïque.

ملخص:

في مجال الطاقة الكهربائية، يمكن أن تشمل البدائل مصادر الطاقة المتجددة مثل الشمس والرياح والطاقة الحرارية الأرضية والكتلة الحيوية. لقد تناولنا في هذا البحث نوع الطاقة الشمسية الكهروضوئية كما ركزنا على أداء الألواح الكهروضوئية لتحمل انقطاع التيار الكهربائي عن الآلات في الورشات الميكانيكية.

لذلك حاولنا أولاً تقدير الطلب على الطاقة للمستخدم وباستخدام برنامج... قمنا بتقسيم تركيبتين (مستقلة ومتصلة بالشبكة) لتحديد عدد من اللوحات وعدد البطاريات.

تعتبر خصائصها وكذلك المنظمين. العناصر الأساسية للمنشآت الضوئية. لذلك في النهاية نظرنا في التقسيم الاقتصادي للنظامين.

من خلال النتائج التي حصلنا عليها عن طريق المحاكاة لاحظنا ان التركيب الكهروضوئي المتصل بالشبكة يسمح بالحصول على نتيجة أكثر ربحية مقارنة بالنظام المستقل.

الكلمات المفتاحية: برنامج PV système , برنامج SketchUp , برنامج Matlab Simulink , الألواح الشمسية الكهروضوئية.

Abstract

In the field of electric power, alternatives can include renewable energy sources such as sun, wind, geothermal, and biomass. In this research, we dealt with the type of photovoltaic solar energy and focused on the performance of photovoltaic panels to withstand power outages for machines in mechanical workshops.

So, we first tried to estimate the power demand of the user and using a program ... we divided two installations (standalone and grid-connected) to determine the number of panels and the number of batteries.

Their characteristics and regulators are considered. The basic elements of photovoltaic installations, so in the end we considered the economic division of the two systems.

From the results obtained by simulation, we noticed that the grid-connected PV installation allows to obtain a more profitable result compared to the standalone system.

Key words: PV software system, SketchUp software, MATLAB Simulink software, photovoltaic solar panel.

SOMMAIRE

Remerciement

Dédicace

Résumé

Sommaire

Liste des figures et tableaux

Liste des abréviations et symboles

Introduction générale

Chapitre I : : Etat de l'art et généralités

I.1.Introduction	2
I.2. Définition de l'énergie renouvelable.....	2
I.3. Les différents types d'énergies renouvelables	3
I.3.1. L'énergie solaire.....	3
a. L'énergie solaire thermique	3
b. L'énergie solaire photovoltaïque	5
I.3.2. L'énergie éolienne	7
I.3.3. Energie biomasse	9
I.4. Les énergies fossiles	11
I.4.1. Groupe électrogène.....	11
I.4.2. Micro Turbine à gaz.....	13
I.5.Le stockage de l'énergie	14
I.5.1. Système de stockage (batteries)	15
I.5.2. Autre type de stockage d'énergie	17
I.5.2.1. Stockage à air comprimé (CAES : Compressed Air Energy Storage)	17
I.5.2.2. Stockage hydraulique (STEP).....	18
I.5.2.3. Stocker de l'Energie renouvelable sous forme d'hydrogène.....	18
I.6.Conclusion.....	19

Chapitre II : La centrale photovoltaïque

II.1. Introduction	21
II.2. Les différentes configurations des centrales photovoltaïques.....	21
II.2.1. Installations électriques photovoltaïques autonomes	21
II.2.2. Mode connecté au réseau	22
II.2.3. Mode hybride	23

II.3. Centrale photovoltaïque.....	24
II.4. Les différentes technologies du panneaux PV.....	27
II.4.1. Les cellules au silicium monocristallin.....	27
II.4.2. Les cellules au silicium multi cristallin.....	28
II.4.3. Les cellules au silicium amorphe.....	29
II.4.4. L'évolution technologique des panneaux photovoltaïque.....	29
II.4.4.1. Les panneaux solaires organiques.....	29
II.4.4.2. Les panneaux solaires en pérovskite.....	30
II.4.4.3. Le panneau solaire Half Cut.....	31
II.4.4.4. Un panneau solaire bifacial.....	32
II.5. L'évolution des rendements des cellules photovoltaïques en laboratoire.....	33
II.6. Modélisation du panneau photovoltaïque.....	34
II.6.1. Modèle théorique.....	34
II.6.1.1. Courant induit par le soleil.....	35
II.6.1.2. Dépendance à la température.....	37
II.6.1.3. Port thermique.....	38
II.6.2. Modélisation et simulation sur Matlab Simulink.....	39
II.7. Conclusion.....	45

Chapitre III : Dimensionnement de la centrale photovoltaïque

III.1.Introduction	47
III.2. Etude du besoin en Energie	47
III.2.1. Bilan énergétique	47
III.2.2. Présentation des équipements	47
III.3. Etude du site	49
III.3.1. Gisement solaire en Algérie	49
III.3.2. Ombrage.....	50
III .3.3. Des solutions pour limiter l'impact des ombrages	51
III.4. Proposition du système.....	51
III.4.1. Système isolé avec backup.....	51
III.4.2. Système raccordé au réseau	51
III.5. Présentation des équipement choisis	53
III.6. Conclusion	56

Chapitre 4 : Simulation et discussion des résultats

IV.1. Introduction	58
IV.2. Présentation du logiciel PVSYST.....	58
IV.3. Présentation des résultats de simulation.....	58
IV.3.1 Simulation du système isolé avec off Grid	60
IV.3.1.1. Analyse et discussion des résultats.....	63
IV.3.2. Simulation du system ON Grid.....	68
IV.3.2.1. Les résultats	68
IV.4. Comparaison des deux systèmes.....	73
IV.5. Simulation 3D de la centrale PV.....	73
IV.6. Conclusion.....	75

Conclusion générale

Bibliographique

Listes des Figures

N° Figure	Titre	Pages
Figure.I.1	Différentes énergies renouvelables	3
Figure.I.2	Principe de fonctionnement de l'énergie solaire thermique	5
Figure.I.3	L'énergie solaire photovoltaïque	5
Figure.I.4	Le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	7
Figure.I.5	Photographie de deux moulins à vents	5
Figure.I.6	Schéma d'une éolienne de type aérogénérateur	9
Figure.I.7	Energie biomasse	9
Figure.I.8	Schéma du fonctionnement d'une centrale biomasse	10
Figure.I.9	Les énergies fossiles	11
Figure.I.10	Groupe électrogène	12
Figure.I.11	Micro turbin a gaz	13
Figure.I.12	Batterie	15
Figure.I.13	Historique de la batterie	16
Figure.II.1	Schéma typique d'une installation photovoltaïque autonome	22
Figure.II.2	Système photovoltaïque raccordé au réseau	23
Figure.II.3	Systèmes d'alimentation autonome hybride Photovoltaïque	24
Figure.II.4	Principe de la production électrique solaire	25
Figure.II.5	L'onduleur	26
Figure.II.6	Le transformateur	26
Figure.II.7	Les centrales en Algérie	27
Figure.II.8	Cellule au silicium monocristallin	28
Figure.II.9	Cellule au silicium multi cristallin	29
Figure.II.10	Cellule au silicium amorphe	30
Figure.II.11	Les panneaux solaires organique	31
Figure.II.12	Les panneaux solaires en pérovskite	31
Figure.II.13	La technologie de cellule type half cut	32
Figure.II.14	Principe de fonctionnement du panneau bifacial	33
Figure.II.15	L'évolution des meilleurs rendements des cellules photovoltaïques en laboratoire	34

Figure.II.16	Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque	35
Figure.II.17	Le modèle de port thermique	39
Figure. II.18	Le modèle de simulation d'une cellule solaire	39
Figure.II.19	Caractéristiques cellulaires	40
Figure. II.20	Configuration	41
Figure. II.21	Dépendance de température	41
Figure.II.22	Le block de simulation du courant et son source code	42
Figure.II.23	Les paramètre de l'irradiation	44
Figure.II.24	Résultats de simulation	44
Figure.III.1	La Fraiseuse (FE300)	48
Figure.III.2	Tour (Parallèle)	48
Figure. III. 3	Éclairage (LED)	49
Figure.III.4	Irradiation solaire globale en Algérie	50
Figure. III.5	Schéma simplifié d'une installation PV autonome	52
Figure.III.6	Schéma simplifié d'une installation PV connectée au réseau	53
Figure.III.7	Convertisseur display power	53
Figure. III.8	Panneaux Jinko Solar monocristalline	54
Figure. III.9	Batterie Narada	54
Figure.III.10	Groupe électrogène HYUNDAI	55
Figure.III.11	Onduleur Vacon	55
Figure.IV.1	Localisation du site étudié	58
Figure.IV.2	Caractéristiques climatiques du site étudié	59
Figure.IV.3	Orientation des panneaux	59
Figure.IV.4	Détermination des besoins électriques	60
Figure.IV.5	Distribution horaire de la charge	60
Figure.IV.6	Dimensionnement du parc de batteries	61
Figure.IV.7	Dimensionnement du champ PV	62
Figure.IV.8	Dimensionnement de groupe électrogène	62
Figure.IV.9	Lancement de La simulation	63
Figure.IV.10	Paramètres de simulation de off Grid	64
Figure.IV.11	Graphe représente indice de performance en fonction de mois	64
Figure.IV.12	Graphe représente variation de l'énergie normalisé par mois	65
Figure.IV.13	Diagramme des pertes sur l'année entière	66

Figure.IV.14	Dimensionnement des modules PV et onduleurs	68
Figure.IV.15	Paramètres de simulation système connecté au réseau	69
Figure.IV.16	Les productions normalisées	69
Figure.IV.17	Indice de performance de la centrale PV	70
Figure.IV.18	Diagramme des pertes sur l'année entière	71
Figure.IV.19	Simulation 3D de la centrale photovoltaïque 1	74
Figure.IV.20	Simulation 3D de la centrale photovoltaïque 2	74
Figure.IV.21	Simulation 3D de la centrale photovoltaïque 3	75
Figure.IV.22	Simulation 3D de la centrale photovoltaïque 4	75

Listes des Tableaux

N° Tableaux	Titre	Pages
Tableau III.1	Bilan énergétique	47
Tableau.IV.1	Etude économique du système isolé	67
Tableau.IV.2	Etude économique du système PV connecté au réseau	72
Tableau.IV.3	Comparaison entre deux systèmes	73

Abréviations

MGT	Micro turbine à gaz
STEP	Les Stations de Transfert d'Énergie par Pompage
CAES	Stockage à air comprimé (Compressed Air Energy Storage)
PV	Photovoltaïque
Mc-Si	Le silicium multicristallin
CIGS	Cuivre-indium-Gallium-silicium
CdTe	Cadmium-telluride
Mppt	Maximum power point tracker
PVsyst	Logiciel de conception et d'analyse de systèmes photovoltaïques
KWc	Kilowatt-crête
KWh	Kilowatt-heure

Nomenclature

Symbole	Désignation	Unités
I_{ph}	Le courant induit par le soleil	[A]
I_r	L'irradiance (intensité lumineuse)	W/m ²
I_{ph0}	Le courant solaire généré mesuré pour l'irradiance I_{r0}	[A]
I_s	Le courant de saturation	[A]
V_t	La tension thermique	[V]
k	La constante de Boltzmann	[J/K]
T	La valeur du paramètre de température de simulation de l'appareil.	[K]
q	La charge élémentaire sur un électron	[C]
N	Le facteur de qualité	/
$TIPH$	Le coefficient de température	/
T_{meas}	La valeur du paramètre de température de mesure	[K]
$TXIS$	L'exposant de température pour I_s	/
TRS	L'exposant de température pour R_s	/
R_s	La résistance en série	[Ω]
TRP	L'exposant de température pour R_p	/
R_p	La résistance parallèle	[Ω]

Introduction Générale

Introduction générale

L'Algérie est un pays d'Afrique-méditerranéenne situé au centre de l'Afrique du Nord, où elle occupe une position clé pour jouer un rôle stratégique dans l'application des technologies d'énergies renouvelables et la production d'électricité à partir de l'énergie solaire, qui sera le moteur du développement économique durable.

À une époque de préoccupation croissante pour l'environnement, la nécessité de passer aux énergies renouvelables est devenue une priorité mondiale en réponse aux défis du changement climatique et de la rareté des matières énergétiques fossiles.

L'énergie renouvelable est une énergie propre dérivée de sources naturelles et constamment renouvelée. Elle réduit également les émissions de gaz à effet de serre et la dégradation de l'environnement.

L'une des formes d'énergie renouvelable les plus abondantes et les plus accessibles est l'énergie solaire, qui se divise en énergie thermique et énergie photovoltaïque, que nous étudierons dans notre projet, ainsi qu'en énergie éolienne, hydraulique et biomasse.

Le but de ce travail est d'étudier, comparer et simuler une centrale photovoltaïque isolée avec une batterie et connectée au réseau, ce que nous aimerions appliquer aux ateliers pédagogiques situés à la Faculté de Technologie de Boumerdes à travers le Programme PV system utilisé pour concevoir et analyser des systèmes d'énergie solaire.

- Le premier chapitre aborde l'état de l'art et généralités sur l'énergies renouvelables et les énergies fossiles.
- Le deuxième chapitre est une exploration sur les centrales photovoltaïques.
- Le troisième chapitre est consacré à l'étude du besoin en énergie et l'étude de site et la présentation des différents composants du système.
- Le quatrième chapitre aborde la simulation et discussion des résultats.
- Une conclusion résumé le travail réalisé.

Chapitre I : Etat de l'art et Généralités

I.1. Introduction

Le secteur des énergies renouvelables a enregistré une croissance remarquable ces dernières années et a obtenu de grands succès grâce aux progrès technologiques et à la prise de conscience mondiale de l'abandon des sources fossiles.

Les énergies renouvelables proviennent de sources inépuisables, présentes sur Terre en quantité illimitée : par exemple, l'énergie solaire, qui vient du soleil, l'énergie éolienne, qui utilise le vent, l'énergie hydraulique, qui utilise la force de l'eau, etc. [1].

L'énergie fossile est un type d'énergie qui résulte de la conversion de matières organiques riches en énergie sous le soleil pendant des millions d'années, d'où le nom « fossile ». Ils fournissent des réserves composées principalement de carbone. Les énergies fossiles sont aussi des énergies non renouvelables que nous consommons quotidiennement (essence, charbon, gaz naturel...) [1].

La différence entre les énergies fossiles et renouvelables réside principalement dans leur origine. Les énergies non renouvelables proviennent de sources disponibles en quantité limitée sur Terre. Concrètement, nous nous dirigeons vers l'épuisement des énergies fossiles [1].

Ce chapitre présente d'une manière générale les énergies renouvelables (éolienne, solaire thermique et photovoltaïque, Biomasse) et les énergies fossiles (groupe électrogène, Micro turbine à gaz) et stockage d'énergie.

I.2. Définition de l'énergie renouvelable

Il existe de nombreux concepts relatifs aux énergies renouvelables on les a trouvés dans de nombreuses sources. Mais elle peut être définie comme une énergie produite à partir de sources naturelles renouvelables est toujours disponible c'est-dire sont des sources qui se renouvelle assez rapidement de telle sorte que l'utilisation actuelle n'ait pas d'impact sur la disponibilité future, dans ce sens on appelle les énergies renouvelables ou énergies vertes toutes énergies qui ne nuit pas à l'environnement ,parce qu' elle fait appel à des éléments qui se recréent naturellement [2], sont les énergies renouvelables :

- Energie solaire
- L'énergie éolienne
- La biomasse
- L'énergie hydraulique
- L'énergie géothermique

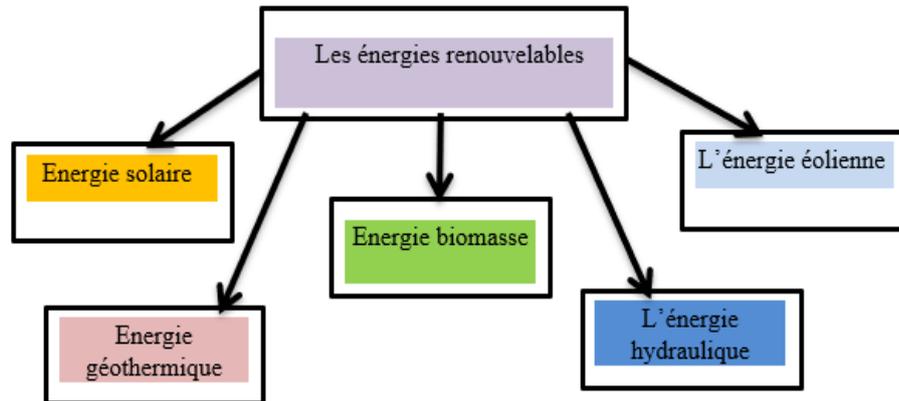


Figure.I.1 : Différentes énergies renouvelables

I.3. Les différents types d'énergies renouvelables

I.3.1. L'énergie solaire

Transformation de l'énergie solaire en électricité ou en chaleur à partir de panneaux ou de capteurs solaires. Le soleil est la principale source des différentes formes d'énergies renouvelables disponibles sur terre.

Il existe deux type de la conversion de cette énergie :

a. L'énergie solaire thermique

Qui consiste tout simplement à produire de la chaleur grâce à des panneaux sombres. On peut aussi produire avec de la vapeur à partir de la chaleur du soleil puis convertir la vapeur en électricité [3].

- **Historique**

L'énergie solaire thermique a une place dans l'histoire de l'énergie solaire à partir de l'année 1767. Cette année, le scientifique suisse Horace Bénédicte De Saussure a inventé l'héliothermomètre, un instrument permettant de mesurer le rayonnement solaire. Le développement ultérieur de son invention a donné naissance aux instruments actuels de mesure du rayonnement solaire.

Horace Bénédicte De Saussure avait inventé le capteur solaire qui aura un impact décisif sur le développement de l'énergie solaire thermique basse température. De son invention émergeront tous les développements ultérieurs des chauffe-eau solaires à plaques plates.

L'invention concernait des boîtes chauffantes en bois et en verre dans le but de piéger l'énergie solaire.

En 1865, l'inventeur français Augustin Mouchot a créé la première machine à convertir l'énergie solaire en énergie mécanique. Le mécanisme consistait à générer de la vapeur à travers un capteur solaire et à déplacer un moteur à travers sa pression. Malheureusement, des coûts élevés ont empêché son invention d'avoir une utilisation commerciale.

Mouchot était un personnage important pour la société française. En plus de créer la première machine à vapeur solaire, il a conçu d'autres inventions. Mouchot a inventé un cuiseur solaire qui se composait d'un réservoir noir recouvert de verre exposé au soleil. Sur le côté du réservoir qui n'était pas exposé au soleil, il a placé un miroir parabolique pour réfléchir le rayonnement solaire.

Une presse à imprimer fournit d'énergie solaire a même été inventée. Une invention conçue par Abel Pifre [4].

- **Principe de fonctionnement de l'énergie solaire thermique**

Le principe de l'énergie thermique consiste à transformer le rayonnement solaire en énergie thermique grâce à un fluide qui circule dans des panneaux exposés au soleil, (fig. I.2). Cette forme de conversion d'énergie peut être directe si on veut uniquement chauffer de l'eau sanitaire.

Par contre, si on veut générer de l'électricité, il faudra utiliser des générateurs qui convertissent l'énergie thermique générée en électricité (par exemple, moteurs à air chaud).

L'énergie thermique utilise la chaleur du rayonnement solaire pour le chauffage de bâtiments ou de l'eau sanitaire. Pour cette dernière il est intéressant de savoir que dans certains pays le chauffage d'eau sanitaire représente environ 20% des dépenses énergétiques d'un foyer et que l'énergie solaire thermique peut subvenir à environ 80% de cette dépense énergétique [5].

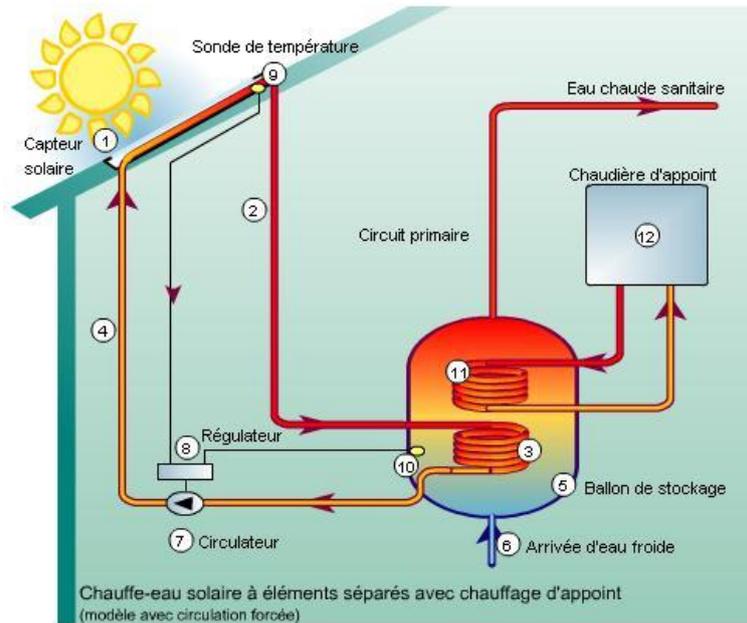


Figure.I.2 : Principe de fonctionnement de l'énergie solaire thermique

b. L'énergie solaire photovoltaïque

Qui consiste à produire directement de l'électricité à partir de la lumière à l'aide de modules solaires. Cette forme d'énergie est déjà exploitée dans de nombreux pays, surtout dans les pays ou les régions ne disposant pas de ressources énergétiques conventionnelles tels que les hydrocarbures ou le charbon [3].



Figure.I.3 : L'énergie solaire photovoltaïque

- **Historique**

En 1838, l'énergie solaire photovoltaïque apparaît dans l'histoire de l'énergie solaire. En 1838, le physicien français Alexandre Edmond Becquerel découvre pour la première fois l'effet

photovoltaïque. Becquerel expérimentait une cellule électrolytique avec des électrodes en platine et s'est rendu compte que son exposition au soleil augmentait le courant électrique.

L'étape suivante a été franchie en 1873. L'ingénieur électricien anglais Willoughby Smith a découvert l'effet photoélectrique dans les solides. Dans ce cas sur Sélénium.

Quelques années plus tard, en 1877, l'Anglais William Grylls Adams, professeur de philosophie naturelle au King College de Londres, avec son élève Richard Evans Day, découvrit que lorsqu'ils exposaient le sélénium à la lumière, il produisait de l'électricité. De cette manière, ils ont créé la première cellule photovoltaïque au sélénium.

En 1953, Calvin Fuller, Gerald Pearson et Daryl Chapin ont découvert la cellule solaire en silicium, un semi-conducteur. Cette cellule produisait suffisamment d'électricité et était suffisamment efficace pour alimenter de petits appareils électriques.

Les panneaux photovoltaïques disponibles dans le commerce ne sont apparus qu'en 1956. À cette époque, le coût était encore très élevé pour la plupart des gens. Vers 1970, le prix des panneaux solaires photovoltaïques a chuté de près de 80%.

Les cellules solaires ont été utilisées dans les satellites américains et soviétiques lancés à la fin des années 1950 [4].

- **Principe de fonctionnement**

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type N et dopée de type P. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau N diffusent dans le matériau P.

La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p. Une jonction (dite p-n) a été formée.

En ajoutant des contacts métalliques sur les zones n et p, une diode est obtenue. Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes, chacun fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction et laisse aussi un trou capable de se mouvoir, engendrant ainsi une 16 paire électron - trou. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone N rejoignent les trous de la zone P via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel [6].

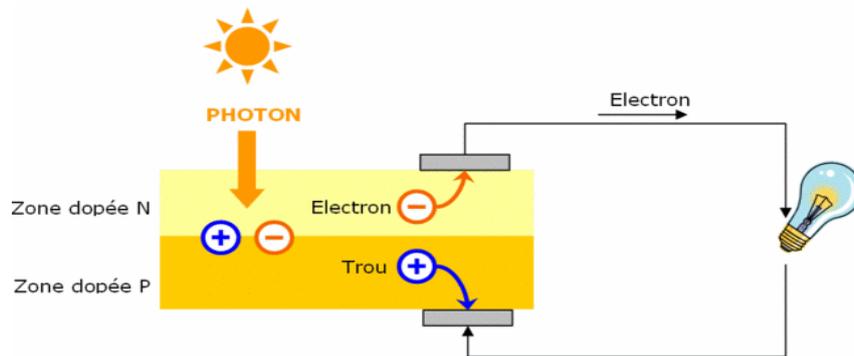


Figure.I.4 : Le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

I. 3.2. L'énergie éolienne

C'est une énergie produite par le vent au moyen d'un dispositif aérogénérateur ou un moulin à vent [7].

- **Historique**

Depuis l'Antiquité, les « moulins à vent » convertissent l'énergie éolienne en énergie mécanique, généralement utilisée pour moudre du grain (Fig. 1.5). De nos jours, on trouve encore des éoliennes couplées à des pompes à eau, souvent utilisées pour irriguer des zones sèches, assécher des zones humides ou abreuver le bétail. L'arrivée de l'électricité donne l'idée à « Poul La Cour » en 1891 d'associer à une turbine éolienne une génératrice. Ainsi, l'énergie en provenance du vent a pût être « redécouverte » et de nouveau utilisé (dans les années 40 au Danemark, 1300 éoliennes). Au début du siècle dernier, les aérogénérateurs ont fait une apparition massive (6 millions de pièces fabriquées) aux Etats-Unis où ils étaient le seul moyen d'obtenir de l'énergie électrique dans les campagnes isolées. Dans les années 60, fonctionnait dans le monde environ un million d'aérogénérateurs. Cette technologie a été quelque peu

délaissée par la suite et il faudra attendre la crise pétrolière de 1974 qui a relancé les études et les expériences sur les éoliennes [8].



Figure.I.5 : Photographie de deux moulins à vents

- **Principe de fonctionnement**

Héritiers des moulins à vent, les aérogénérateurs - plus souvent appelés éoliennes - utilisent la force du vent pour la transformer en électricité. La machine se compose de pales (3 en général) portées par un rotor et installées au sommet d'un mât vertical. Cet ensemble est fixé sur une nacelle qui abrite un générateur. Un moteur électrique permet d'orienter la nacelle afin que le rotor soit toujours face au vent. Le vent fait tourner les pales entre 10 et 25 tours par minute. Le générateur transforme l'énergie mécanique ainsi créée en énergie électrique injectée dans le réseau en conformité aux normes électriques applicables.

Les éoliennes fonctionnent pour des vitesses de vent généralement comprises entre 14 et 90 km/h. Au-delà, elles sont progressivement arrêtées pour sécuriser les équipements et minimiser leur usure [9].

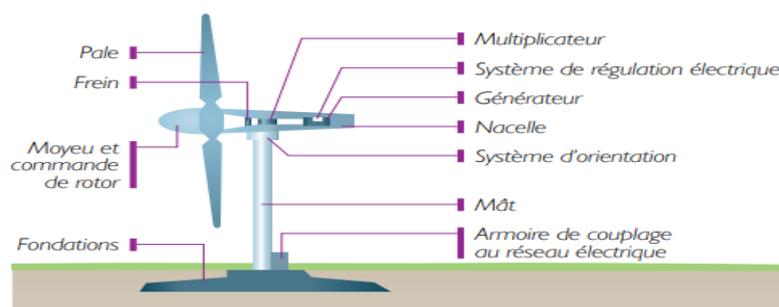


Figure.I.6 : Schéma d'une éolienne de type aérogénérateur

I. 3.3. Energie biomasse

La biomasse désigne l'ensemble des matières organiques pouvant se transformer en énergie. On entend par matière organique aussi bien les matières d'origine végétale (résidus alimentaires, bois, feuilles) que celles d'origine animale (cadavres d'animaux, êtres vivants du sol) [10].

**Figure.I.7 :** Energie biomasse

- **Historique**

La biomasse peut se vanter d'être l'une des premières formes d'énergie utilisées par l'Homme, Ses premières utilisations remontent aux débuts de nos origines, à la Préhistoire : nos ancêtres utilisaient déjà la biomasse par le feu pour se chauffer, s'éclairer ou pour cuire leurs aliments. Au 18^{ème} siècle, le bois est le principal combustible utilisé dans les maisons et les entreprises pour le chauffage et la cuisson. Il sera aussi utilisé de manière intensive jusqu'à la première révolution industrielle, notamment pour alimenter les machines à vapeur et les aérostats

C'est en 1876, que Nicolaus August Otto imagina le premier un moteur à combustion utilisant de l'éthanol. Il sera suivi de près en 1900, lorsque Rudolf Diesel conçoit le premier moteur à l'huile végétale avec de l'huile d'arachide. Ainsi sont nés les premiers biocarburants.

Dès 1890, le charbon commence à remplacer le bois pour la production de vapeur, jusqu'à se faire une place dans les habitations. Toutefois, c'est réellement après 1945, lorsque le prix du pétrole est au plus bas, que la biomasse sera vraiment délaissée au profit d'énergies moins

coûteuses telles que le pétrole et le charbon. Fort heureusement, la tendance s'inverse dès 1970 avec une prise de conscience quant à la pollution des énergies fossiles : la biomasse fait son grand retour [11].

- **Principe de fonctionnement**

Ce type de centrale produit de l'électricité grâce à la vapeur d'eau dégagée par la combustion de matières végétales ou animales. Ça se passe en 4 étapes :

- **La combustion** : on ajoute la matière biomasse (animale ou végétale) est brûlée dans un compartiment avant de les faire brûler ;
- **La production de vapeur d'eau** : la combustion de la biomasse crée de la vapeur d'eau.
- **La production d'électricité** : cette vapeur est envoyée sous pression vers des turbines pour les faire tourner. Ces dernières actionnent à leur tour un alternateur qui va produire de l'électricité.
- **Le recyclage** : en plus de faire tourner les turbines, une partie de la vapeur est récupérée pour du chauffage (= cogénération). Puis elle est à nouveau transformée en eau, pour commencer un nouveau cycle [11].

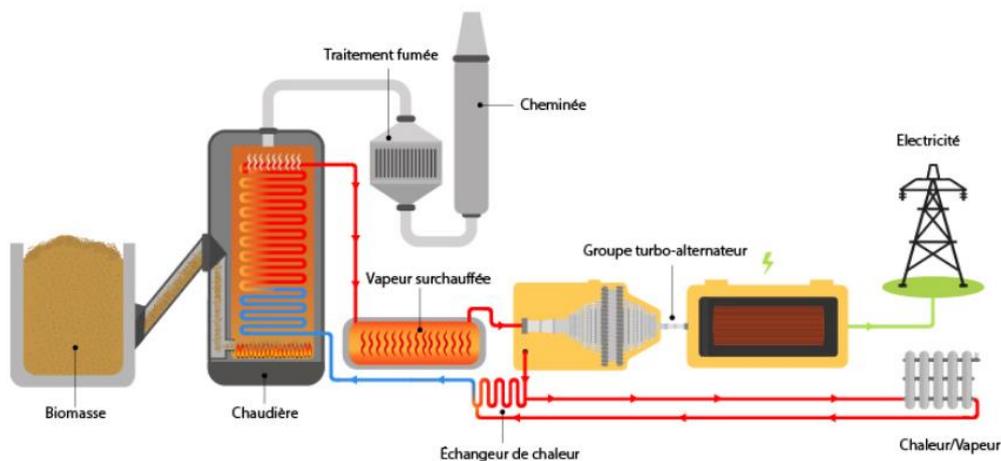


Figure.I.8 : Schéma du fonctionnement d'une centrale biomasse

I .4. Les énergies fossiles

Les énergies fossiles sont des combustibles d'origine organique qui ont été formés au fil de millions d'années à partir de la décomposition de matières organiques. Ces sources combustibles sont utilisées par les sociétés humaines notamment dans les transports et la production d'électricité et de chaleur, mais elles ont des inconvénients majeurs : les réserves de ces ressources sont limitées, et la production et l'usage des énergies fossiles provoque des

pollutions et des émissions de gaz à effet de serre qui en font une cause majeure de la crise écologique globale [12].



Figure.1.9 : Les énergies fossiles

I.4. 1. Groupe électrogène

Un groupe électrogène est un dispositif autonome capable de produire de l'électricité. La plupart des groupes sont constitués d'un moteur thermique qui entraîne un alternateur. Leur taille et leur poids peuvent varier de quelques kilogrammes à plusieurs dizaines de tonnes. Le groupe électrogène permet d'atteindre des puissances et des durées de fonctionnement importantes. En plus de son application comme source de remplacement, le groupe électrogène offre des possibilités d'utilisation dans différents domaines

Un groupe électrogène sert à produire de l'énergie électrique à partir de l'énergie chimique, cette énergie chimique (le carburant) est transformée en énergie mécanique en utilisant un moteur thermique.

L'énergie mécanique développée par le moteur est transformée en énergie électrique via un alternateur [13].



Figure.I.10 : Groupe électrogène

- **Principe de fonctionnement d'un groupe électrogène**

Un groupe électrogène solaire se compose généralement d'un ou plusieurs panneaux photovoltaïques, d'un convertisseur, d'un régulateur, et d'une batterie.

Lorsque les rayons du soleil (les photons) frappent les cellules qui composent les panneaux solaires, ils sont transformés en courant continu grâce à l'effet photovoltaïque. Ce courant est converti en courant alternatif à l'aide d'un convertisseur, afin de pouvoir être utilisé pour faire fonctionner nos appareils électriques.

Afin que vous puissiez utiliser l'énergie produite à n'importe quel moment de la journée, le groupe électrogène solaire stocke de l'électricité dans une batterie. Un régulateur solaire est chargé de contrôler le flux envoyé dans celle-ci.

Les groupes électrogènes solaires peuvent être utilisés pour alimenter des appareils électriques, des systèmes de chauffage et de climatisation, des systèmes de sécurité et bien plus encore [14].

- **Historique**

C'est en 1966, à Belfast, en Irlande du Nord, que Fred Wilson et ses 6 collègues lancèrent la marque FG Wilson. Aujourd'hui, FG Wilson apporte de l'énergie dans plus de 150 pays avec environ 670 000 groupes électrogènes installés depuis 1990. En plus de 50 ans, FG Wilson s'est construit sur la promesse de fournir des produits de qualité et le meilleur service client possible. Le début des années 1970 fut marqué par une crise énergétique majeure d'envergure mondiale, rendant cette période particulièrement difficile pour les affaires. En 1973, la guerre au Moyen-Orient conduisit les pays producteurs de pétrole de la région à restreindre l'offre de pétrole et à augmenter les prix, suscitant d'énormes problèmes d'infrastructures de transport et d'énergie dans de nombreuses grandes économies. Fred Wilson tira parti du rationnement de l'électricité. Il commença à affréter des avions et à importer au Royaume-Uni des groupes électrogènes venus des États-Unis, louant un entrepôt près de l'aéroport d'Heathrow à Londres et vendant aux enchères ces groupes électrogènes aux plus offrants. En 1974, l'entreprise de Fred réalisa un chiffre d'affaires stupéfiant de 10 millions de dollars avec seulement 30

employés, dont ses fils Tom et Gordon, lesquels allaient devenir une force motrice pour emmener l'entreprise vers de nouveaux sommets au cours des 20 années suivantes [15].

I.4.2. Micro Turbine à gaz

Les micro turbines sont de minuscules turbines à gaz capables de produire à la fois de l'électricité et de la chaleur. Leur puissance électrique varie d'environ 25 kW à 250 kW [16].

Une micro turbine à gaz (MGT) est un type de moteur à turbine à gaz conçu pour des applications de production d'électricité ou de propulsion à relativement petite échelle. Contrairement aux grandes turbines à gaz industrielles utilisées dans les centrales électriques et l'aviation, les micro turbines à gaz sont généralement utilisées dans la production d'électricité décentralisée, la cogénération (chaleur et électricité combinées) et certaines applications aérospatiales [17].



Figure.I.11 : Micro turbin a gaz

- **Historique**

Le développement des microturbines à gaz a commencé au début des années 1950, lorsque l'industrie automobile était motivée par la plupart des recherches voyant le potentiel de l'utilisation des microturbines comme alternatives aux moteurs à pistons alternatifs. Cette initiative est née des avantages des petites turbines à gaz en termes de faibles émissions et de flexibilité de fonctionnement et de carburant.

L'intérêt pour les petites turbines à gaz s'est accru à la fin des années 1980 et s'est accéléré dans les années 1990 en raison de l'intérêt accru du marché pour la production d'électricité distribuée. À la fin des années 1990, le marché des véhicules hybrides a commencé à se développer et l'intérêt pour les petites turbines à gaz, en les combinant avec des moteurs électriques pour générer de la propulsion, a également commencé à augmenter [18].

- **Principe de fonctionnement**

Pendant le fonctionnement, le compresseur centrifuge du moteur aspire l'air de son environnement vers le moteur. L'air est ensuite comprimé pour augmenter sa pression totale et sa température. Le diffuseur du compresseur augmente la pression statique de l'air et diminue sa vitesse lors de son passage dans les passages de plongée (aubes). L'air à faible vitesse se mélange au carburant dans la chambre de combustion pour brûler en continu et produire du gaz à haute température, haute pression et vitesse. La turbine dilate le gaz à haute température issu du processus de combustion pour produire la puissance mécanique de l'arbre nécessaire à l'entraînement du compresseur. La tuyère de propulsion d'échappement convergente accélère les gaz d'échappement de la turbine pour créer une poussée pour la propulsion [19].

I.5.Le stockage de l'énergie

Le stockage de l'énergie consiste à préserver une quantité d'énergie pour une utilisation ultérieure. Par extension, l'expression désigne également le stockage de matière contenant l'énergie.

Le stockage de l'énergie est au cœur des enjeux actuels, qu'il s'agisse d'optimiser les ressources énergétiques ou d'en favoriser l'accès. Il permet d'ajuster la « production » et la « consommation » d'énergie en limitant les pertes. L'énergie, stockée lorsque sa disponibilité est supérieure aux besoins, peut être restituée à un moment où la demande s'avère plus importante. Face à l'intermittence ou la fluctuation de production de certaines énergies, par exemple renouvelables, cette opération permet également de répondre à une demande constante.

Les méthodes de stockage dépendent du type d'énergie. Les sources d'énergies fossiles (charbon, gaz, pétrole), sous forme de réservoirs à l'état naturel, remplissent naturellement la fonction de stocks. Une fois extraites, elles peuvent facilement être isolées, hébergées et transportées d'un point de vue technique. Le stockage s'avère plus complexe pour les énergies

intermittentes : leur production est relayée par des vecteurs énergétiques tels que l'électricité, la chaleur ou l'hydrogène, nécessitant des systèmes spécifiques de stockage [20].

I.5.1. Système de stockage (batteries)

Les batteries solaires sont des accumulateurs électriques permettant de stocker l'énergie électrique générée par un panneau photovoltaïque dans une installation d'énergie solaire. On les appelle parfois aussi batteries photovoltaïques.

Les batteries sont des dispositifs électrochimiques qui utilisent de l'énergie chimique pour stocker ou libérer de l'électricité. Dans les batteries classiques, les réactifs sont introduits lors de la fabrication de la batterie. Lorsque les piles sont épuisées, la tension doit faiblir et la pile doit être remplacée.

Les batteries solaires sont utilisées pour stocker l'énergie électrique générée par les panneaux solaires photovoltaïques pendant les heures de plus grand rayonnement solaire. De cette façon, il peut être utilisé plus tard la nuit ou par temps nuageux.

L'utilisation de batteries permet également de fournir une intensité de courant supérieure à ce que peut offrir un panneau photovoltaïque en fonctionnement. Ce serait le cas si plusieurs appareils électriques étaient utilisés en même temps.

La plupart des kits solaires proposés sur le marché du secteur photovoltaïque incluent des batteries [21].



Figure.1.12 : Batterie

Toutes les installations photovoltaïques ne disposent pas de batteries. Parfois, il est préférable de fournir toute l'énergie électrique générée par les panneaux solaires au réseau électrique. En effet, les grandes installations électriques utilisant des énergies renouvelables sont connectées au réseau électrique.

- **Historique**

Volta, physicien italien du début du 19ème siècle fut le premier à générer un courant électrique grâce à un phénomène électrochimique. Quelques années plus tard, toujours au 19ème siècle, Gaston Plante mit au point la première batterie rechargeable. Les batteries que l'on trouve aujourd'hui sont basées sur le même principe [22].

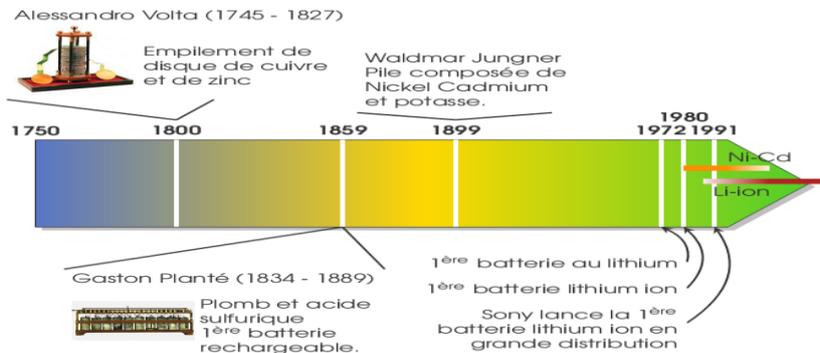


Figure.1.13 : historique de la batterie [23]

- **Fonctionnement de la batterie**

Les batteries ont pour fonction de fournir de l'énergie électrique au système à un moment où les panneaux photovoltaïques ne génèrent pas l'électricité nécessaire. Par exemple, pendant la nuit ou en période de faible luminosité.

Au moment où les panneaux solaires peuvent produire plus d'électricité que celle demandée par le système électrique, toute l'énergie demandée est fournie par les panneaux et le surplus est utilisé pour charger les batteries.

Les batteries transforment l'énergie électrique reçue des modules photovoltaïques en énergie chimique. Cette conversion est réalisée à partir de la réaction qui se produit lorsque deux matériaux différents, comme ceux des plaques positive et négative, sont immergés dans l'électrolyte. L'électrolyte est une solution d'acide sulfurique et d'eau.

L'électricité sort de la batterie dès qu'un circuit électrique est connecté entre les pôles positif et négatif.

À mesure que la batterie se décharge, la composition du plomb sur les plaques devient plus similaire. A ce moment, la densité de l'acide diminue et la tension entre les bornes diminue.

La capacité à subir une charge et une décharge constantes est connue sous le nom d'endurance cyclable d'une batterie [21].

I.5.2. Autre type de stockage d'énergie

I.5.2.1. Stockage à air comprimé (CAES : Compressed Air Energy Storage)

Dans cette technologie de stockage, l'air est comprimé et stocké dans des réservoirs ou dans des cavités souterraines ; c'est-à-dire, d'énergie mécanique potentielle, qui se greffe sur des turbines à gaz

Le principe du CAES consiste à stocker l'air comprimé et ainsi à décarreler la phase de compression de l'air du reste du processus. Pour ce faire, un système de stockage de ce type est inséré entre le compresseur et la chambre de combustion. En phase de stockage, le compresseur utilise l'énergie disponible sur le réseau électrique pour comprimer de l'air. Cet air comprimé est ensuite acheminé puis stocké dans un réservoir adéquat. En phase de déstockage, l'air comprimé est extrait de son réservoir et envoyé dans la chambre de combustion qui précède la turbine. L'énergie produite est enfin restituée ou vendue au réseau [24].

I.5.2.2. Stockage hydraulique (STEP)

Les Stations de Transfert d'Énergie par Pompage (STEP) sont composées de deux retenues d'eau situées à des hauteurs différentes et reliées par un système de canalisation.

Durant les périodes de forts ensoleillements, lorsque le champ photovoltaïque fournit un surplus d'électricité, l'eau du bassin inférieur est pompée et conduite vers le bassin supérieur. Sous l'effet de la pesanteur, cette masse d'eau représente une future capacité de production électrique. Lorsque le réseau connaît un déficit de production électrique, une partie du réservoir supérieur, est vidée et par gravité, l'eau fait tourner une turbine hydraulique qui alimente un alternateur et produit de l'électricité. Le stock d'énergie potentielle est ainsi reconstitué indéfiniment.

La taille importante des installations permet de stocker de grandes quantités d'énergie (1-10 GWh). Également, en fonction de la hauteur d'eau, les installations peuvent délivrer de grandes puissances : de quelques dizaines de MW à plusieurs GW. Toutefois, l'installation d'une STEP nécessite une géographie adaptée [25].

I.5.2.3. Stocker de l'Énergie renouvelable sous forme d'hydrogène

L'hydrogène peut être utilisé pour stocker de l'électricité, permettant de pallier la surproduction d'électricité renouvelable (solaire, éolien, etc.) à certains moments et son insuffisance à d'autres. En effet, la production d'énergie solaire ou éolienne dépend d'éléments naturels et ne peut donc pas être pilotée en fonction de la consommation. Il est donc nécessaire de pouvoir stocker le surplus d'électricité quand la production est supérieure à la consommation. L'électricité ne pouvant être stockée en grande quantité sur une longue période, la solution est de la convertir en hydrogène.

Ainsi, le procédé Power to Gas, consiste à produire de l'hydrogène par électrolyse de l'eau, à partir d'électricité renouvelable. Il est ensuite possible de stocker l'hydrogène, de l'injecter dans le réseau de transport de gaz ou bien de le convertir en méthane de synthèse par réaction avec du CO₂.

Plusieurs méthodes de stockage d'hydrogène sous forme gazeuse à haute pression sont possibles :

Dans des réservoirs ou bouteilles qui permettent de transporter l'hydrogène par camions,

Dans les stations-service et les réservoirs de stockage des véhicules à hydrogène, où il servira ensuite à alimenter une pile à combustible hydrogène qui permet de générer de l'électricité, dans des stockages massifs souterrains [26].

I.6.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les bases de base pour comprendre les énergies renouvelables et fossiles et discuté de certains types de stockage utilisés dans ce domaine.

L'utilisation d'énergies renouvelables, telles que l'énergie solaire et éolienne, augmente parce qu'elles sont propres et durables. En revanche, les énergies fossiles sont limitées et émettent beaucoup de polluants.

Pour stocker l'énergie produite par les énergies renouvelables, des technologies de stockage sont utilisées, comme les batteries et stockage à air comprimé et stockage hydraulique etc. Cela garantit un approvisionnement constant en électricité.

Chapitre II : les centrales photovoltaïques

II.1. Introduction

Les centrales solaires photovoltaïques (PV) sont des installations qui transforment la lumière solaire en électricité fonctionnelle. Il est possible de les configurer de différentes façons afin de satisfaire différents besoins en énergie. Il existe trois configurations principales les centrales photovoltaïques autonomes, les centrales connectées au réseau et les centrales hybrides.

Le principe de fonctionnement des centrales photovoltaïques dépend de l'utilisation de panneaux solaires photovoltaïques, qui sont constitués de plusieurs technologies que nous évoquerons dans ce chapitre. Nous modéliserons également des panneaux photovoltaïques, ce qui implique de créer des courbes de température, de puissance et d'autres facteurs pour comprendre leurs performances dans différentes conditions environnementales et de fonctionnement.

II.2. Les différentes configurations des centrales photovoltaïques

Il y'a trois types de systèmes PV : autonomes, connecté au réseau et hybride

II.2.1. Installations électriques photovoltaïques autonomes

En site isolé, le champ photovoltaïque (1) (fig.II.1.) peut fournir directement l'énergie électrique nécessaire pour faire fonctionner les récepteurs (éclairage et équipement domestique). Un système de régulation (2) et une batterie (3) d'accumulateurs permettent de stocker l'énergie électrique qui sera ensuite utilisée en l'absence du Soleil. Les batteries sont utilisées pour stocker l'énergie électrique sous une forme chimique. Elles restituent l'énergie électrique au besoin selon ses caractéristiques.

Le régulateur de charge (2) a pour fonction principale de protéger la batterie contre les surcharges et les décharges profondes. Il est un élément essentiel pour la durée de vie de la batterie. En site isolé, on peut aussi utiliser des récepteurs fonctionnant en courant alternatif (6). Dans ce cas, l'installation comprendra un onduleur (4). On peut citer quelques exemples de systèmes autonomes, comme les balises en mer, les lampadaires urbains, le pompage solaire et les maisons en sites isolés [27].

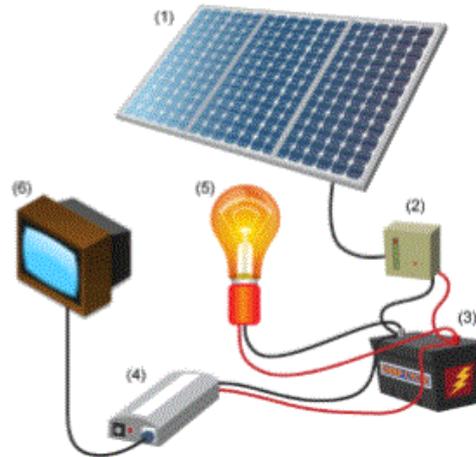


Figure.II.1: Schéma typique d'une installation photovoltaïque autonome

La majorité des populations à l'écart des réseaux électriques vit dans des zones rurales, où l'implantation de tels réseaux est difficile, pour des raisons d'accès ou de moyens. Les systèmes photovoltaïques constituent alors une option intéressante, ils donnent aux populations un accès à l'électricité avec un coût, une maintenance et des difficultés de mise en œuvre réduits [27].

II.2.2. Mode connecté au réseau

Ce système photovoltaïque est branché directement sur un réseau électrique, mais il est installé près de la demande (fig.II.2.). Il peut être installé, par exemple, sur une résidence individuelle ou sur un centre commercial, de telle sorte qu'il alimente cette charge et fournit l'excédent de sa production sur le réseau durant le jour. Durant la nuit, la charge puise l'énergie requise sur le réseau. Ce système permet d'éliminer les frais de stockage d'électricité, particulièrement en ce qui a trait aux charges adaptées à la production photovoltaïque tels les systèmes d'air conditionné (gestion de la demande). Ce système permet aussi d'éviter le stockage classique sur batteries (d'où réduction du coût global) [28].

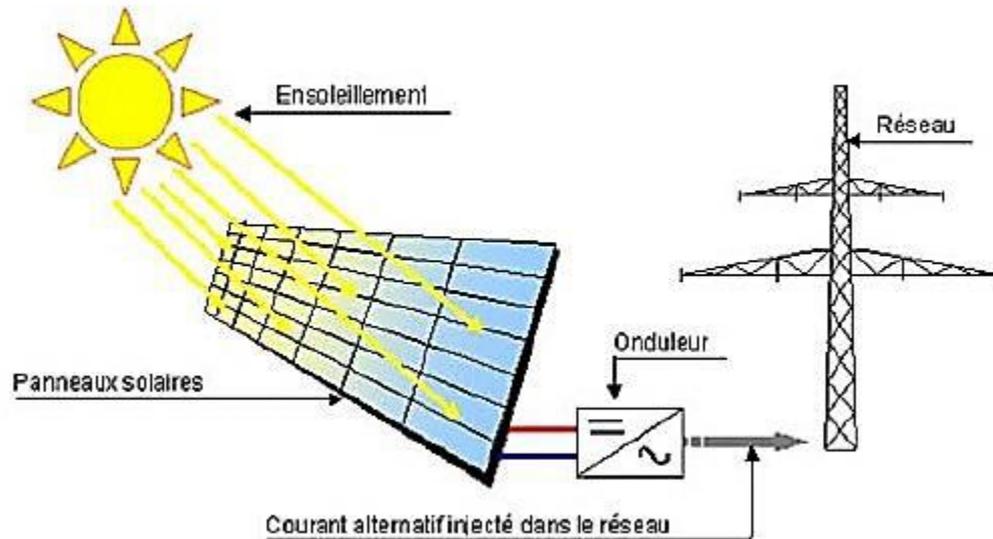


Figure.II.2 : Système photovoltaïque raccordé au réseau

II.2.3. Mode hybride

Un système d'énergie hybride comporte plus qu'une source d'électricité tel que les panneaux photovoltaïques, les cellules à combustible, les générateurs éoliens, les batteries de stockage, les groupes électrogènes, etc. Ce type d'installation est utilisé pour l'électrification des régions loin du réseau. Il existe plusieurs configurations de ces systèmes : PV/thermique, PV/batterie, PV/cellules pile à combustible, PV/éolienne/batterie, PV/éolienne, PV/groupe électrogène. Le choix se base essentiellement selon les caractéristiques météorologiques du site d'implantation. Les systèmes hybrides connectés au réseau ont pour but de renforcer la source principale d'électricité alimentant le réseau (le fuel). Ils sont généralement à base de sources d'énergie renouvelables tel que : les panneaux photovoltaïques, les éoliennes, les piles à combustibles, les batteries de stockage, les groupes électrogènes Un exemple d'un système hybride est représenté sur (la figure II.3) [29].

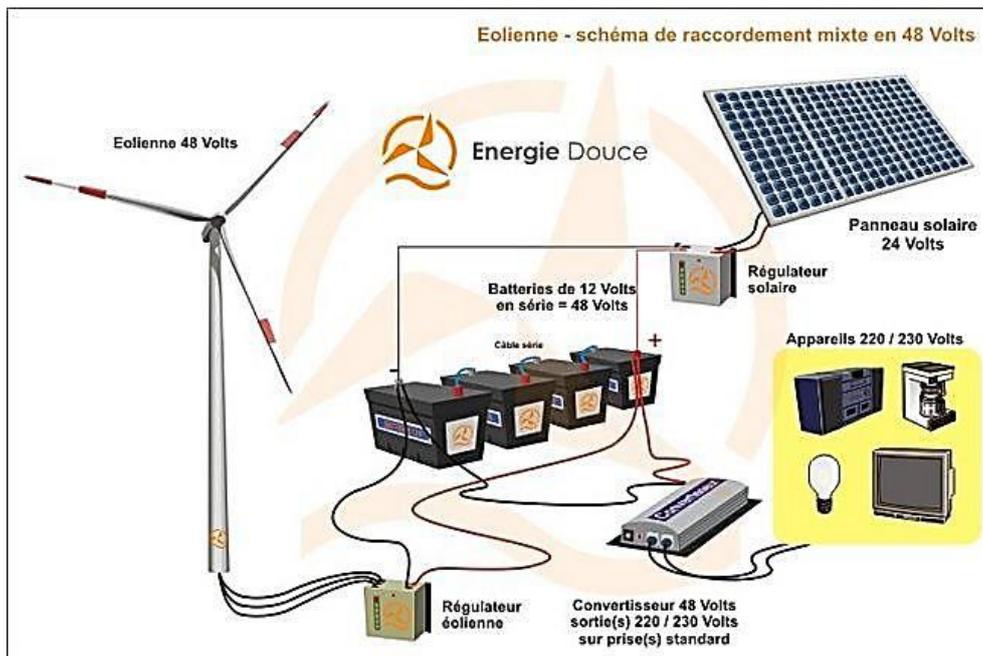


Figure.II.3 : Systèmes d'alimentation autonome hybride Photovoltaïque [30]

II.3. Centrale photovoltaïque

La centrale solaire est également connue sous le nom de centrale photovoltaïque (PV). Il s'agit d'une centrale photovoltaïque à grande échelle conçue pour produire de l'énergie électrique à partir de grandes quantités de rayonnement solaire. Une centrale solaire utilise l'énergie solaire pour produire de l'énergie électrique. Il s'agit donc d'une centrale électrique conventionnelle.

L'énergie solaire peut être utilisée directement pour produire de l'énergie électrique à l'aide de panneaux solaires photovoltaïques. Il existe également une autre façon de produire de l'énergie électrique : l'énergie solaire concentrée. Dans ce type d'installation, l'énergie du rayonnement solaire est d'abord convertie en chaleur (énergie thermique) et cette chaleur est utilisée pour faire fonctionner un générateur conventionnel. Cette méthode est difficile et inefficace pour produire de l'énergie électrique à grande échelle [31].

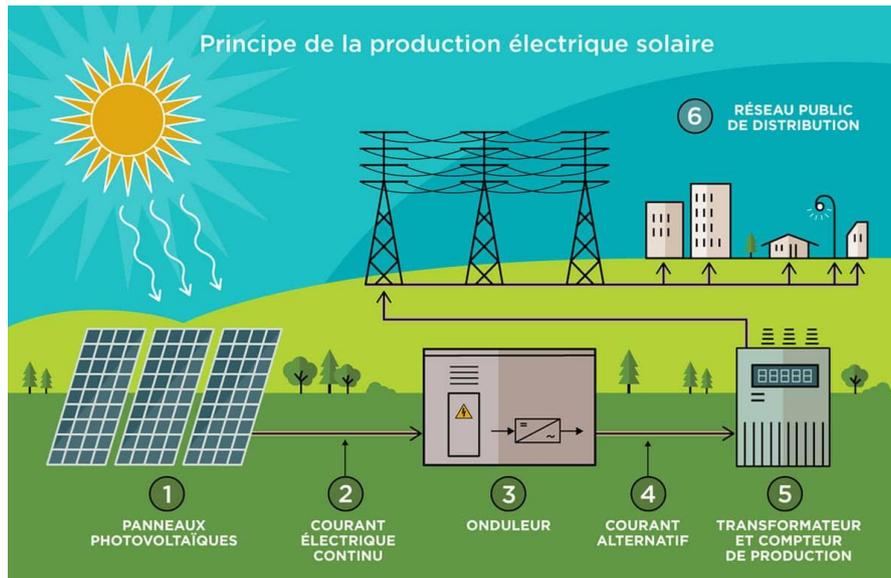


Figure.II.4 : Principe de la production électrique solaire

La centrale photovoltaïque se compose de :

- **Panneau photovoltaïque (PV)**

Les panneaux photovoltaïques sont un élément essentiel d'une centrale solaire. Il est constitué de petites cellules solaires. Il s'agit d'un appareil utilisé pour convertir l'énergie des photons solaires en énergie électrique.

Généralement, le silicium est utilisé comme matériau semi-conducteur dans les cellules solaires. La valeur nominale typique des cellules solaires au silicium est de 0,5 V et 6 A. Et cela équivaut à une puissance de 3 W. Le nombre de cellules est connecté en série ou en parallèle et constitue un module. Le nombre de modules forme un panneau solaire.

Selon la capacité des centrales électriques, un certain nombre de plaques sont montées et un groupe de panneaux est également appelé réseau photovoltaïque (PV) [31].

- **L'onduleur**

L'onduleur se présente sous la forme d'un boîtier métallique muni d'un radiateur ou d'un ventilateur. Il est placé sur un support vertical (comme un mur) ou dans une armoire électrique, dans un espace ventilé ou dehors, à l'abri et le plus près possible des modules photovoltaïques afin de limiter les pertes d'électricité en ligne. Il n'émet que peu de bruit (un léger ronronnement ou sifflement) et le champ électromagnétique est très faible.

L'onduleur convertit le courant continu des modules photovoltaïques en courant alternatif identique à celui du réseau. Il permet également de réguler la tension et la fréquence du courant électrique, et de protéger l'installation contre les surtensions ou les courts circuits [32].



Figure.II.5 : l'onduleur

- **Transformateur**

Un poste de transformation est un élément du réseau électrique qui transmet et distribue l'électricité.

Il élève la tension électrique en vue de la transmission de cette dernière, puis il la fait redescendre afin qu'elle puisse être consommée par les usagers. L'électricité qui arrive chez un particulier passe tout d'abord par un poste de transformation, autrement nommé poste source.

La plupart du temps, le poste de transformation est doté d'un équipement de protection comme le disjoncteur, avec lequel il est possible de couper le courant. Cette protection peut être un parafoudre qui protège le poste de transformation d'éventuelles surtensions produites par la foudre [33].



Figure.II.6 : Le transformateur

• Exemple de centrale PV en Algérie

Parc ENR Actuel

1- Nombre des centrales installée : 21 Centrales (21 Cle PV et 01 Cle Eolien)

2- Puissance Installée : 354,3 MW (344,1 MWc PV et 10,2 MW Eolien)

3- Energie Produite depuis la MES : 930 GWh (865 GWh PV et 65 GWh Eolien) [34]

La Figure II.7 qui montre le nombre de mégawatts (MWc) de capacité solaire photovoltaïque (PV) installés dans différentes centrales, ou centrales électriques, en Algérie.

Centrales	P. Installée (MWc)	Centrales	P. Installée (MWc)
1- Réseau PIAT		3- Réseau RIN	
Eolienne Kabertène	10,2	Oued Nechou PV (Ghardaia)	1,1
Adrar	20	Sedret Leghzel (Naâma)	20
Kabertène	03	Oued El kebrit (Souk Ahras)	15
In Salah	05	Ain Skhouna (Saida)	30
Timimoune	09	Ain El Bel (Djelfa) 1 et 2	53
Regguen	05	Lekhneg (Laghouat) 1 et 2	60
Zaouiat Kounta	06	Telagh (Sidi-Bel-Abbes)	12
Aoulef	05	Labioudh Sidi Chikh (El-Bayadh)	23
2- Réseau RIS		El Hdjira (Ouargla)	30
Tamanrasset	13	Ain-El-Melh (M'Sila)	20
Djanet	03	Oued El Ma (Batna)	02
Tindouf	09	Total SKTM (EnR)	354,3

Figure II.7 : les centrales en Algérie [34].

• Projet 2000 MW

En Algérie, l'année 2024 est précédée de la promesse d'un bond en avant dans la réalisation du programme national des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique.

Le projet de 2000 mégawatts (MW) d'énergie solaire photovoltaïque, initié par Sonelgaz, a été lancé. Il devrait être bouclé au plus tard au premier semestre 2025, avec l'installation d'une puissance d'énergies renouvelables (EnR), au niveau national, bien plus élevée que les 589,7 MW recensés dans le bilan établi par le Commissariat aux énergies renouvelables et à l'efficacité énergétique (CEREFÉ) sur toute la période allant de 2011 à décembre 2022.

Le projet des 2.000 MW consiste en la réalisation de 14 centrales solaires photovoltaïques – au lieu des 15 prévues initialement (un lot concernant une centrale de 80 MW ayant été annulé) – réparties sur 11 wilayas, d'une puissance unitaire variant entre 80 et 220 MW, en plus des raccordements au réseau de transport électrique [35].

II.4. Les différentes technologies du panneaux PV

La réalisation de cellules à base de silicium reste la filière la plus avancée sur le plan technologique et industriel, en effet, le silicium est l'un des éléments les plus abondants sur terre sous forme de silice, parfaitement stable et non toxique. Il existe trois grands types de silicium : monocristallin, amorphe et polycristallin. Les siliciums mono ou poly cristallin ont un rendement électrique et une durée de vie deux fois supérieure à celle du silicium amorphe, mais sont nettement plus coûteux. Dans la pratique, l'amorphe est choisi pour les applications de très faible puissance comme par exemple les calculatrices ou les montres alors que toutes les autres applications d'envergure supérieure privilégient le silicium cristallin [36].

II.4.1. Les cellules au silicium monocristallin

Le silicium monocristallin (mono-Si), est un matériau composé d'un seul cristal parfaitement homogène. Les cellules solaires issues de ce silicium ont une couleur caractéristique qui est généralement gris noir métallique.

Les avantages de cette technologie sont : une production des panneaux solaires presque optimale. Les cellules monocristallines offrent les meilleurs rendements (16 à 25%) les panneaux solaires à base de silicium monocristallin présentent une bonne durée de vie (30 ans).

Les inconvénients sont : un coût de production élevé, les panneaux sont donc chers à la vente, un rendement plus faible sous un faible éclaircissement et une baisse du rendement quand la température augmente ; par conséquent une production faible dans les régions chaudes [37].

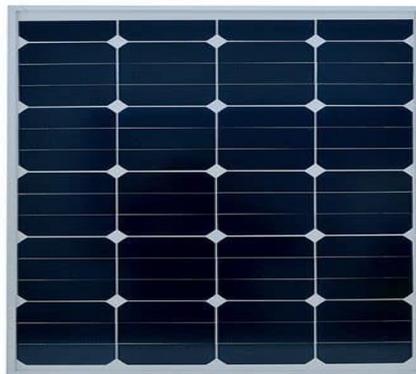


Figure. II. 8 : Cellule au silicium monocristallin

II.4.2. Les cellules au silicium multi cristallin

Contrairement au silicium monocristallin, le silicium multicristallin (mc-Si) est composé de plusieurs domaines cristallins de tailles variées et orientés de manière aléatoire dans le matériau. Les cellules solaires multicristallines ont donc un aspect non uniforme et sont de couleur bleue. Cette technologie a comme avantages : un coût de production moins élevé que pour les cellules monocristallines. Les panneaux ont également une bonne durée de vie. Le rendement est correct, même par temps nuageux. Son principal inconvénient est justement son rendement de conversion qui est légèrement inférieur à celui des cellules au mono-Si. Il est compris entre 14 et 21% [37].

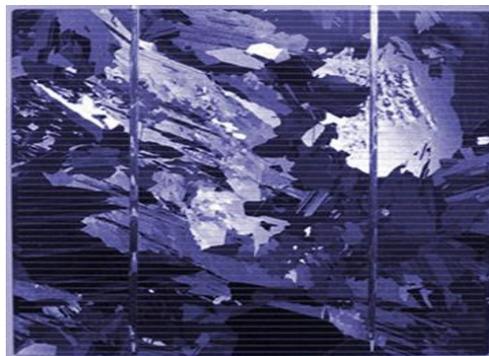


Figure.II.9 : Cellule au silicium multi cristallin

II.4.3. Les cellules au silicium amorphe

Les cellules au silicium amorphe sont des cellules à couche mince, c'est-à-dire qu'elles sont fabriquées en déposant une fine couche de silicium sur un support (ou "substrat"), par exemple du verre. L'épaisseur de silicium utilisée est beaucoup plus faible que pour les cellules mono ou polycristallines qui sont réalisées à partir de tranches de silicium.

Ce type de cellule est donc moins cher et plus facile à fabriquer. Sa faible épaisseur permet, par exemple, de les utiliser pour créer des panneaux solaires souples. Cependant ces cellules ont des rendements limités (de l'ordre de 5 à 7%, soit environ 15m² pour obtenir 1kWc) et sont donc réservés à des applications nécessitant peu de puissance.

Les cellules au silicium amorphes sont beaucoup utilisées pour l'alimentation de petits appareils solaires (montre, calculatrice...) [38].

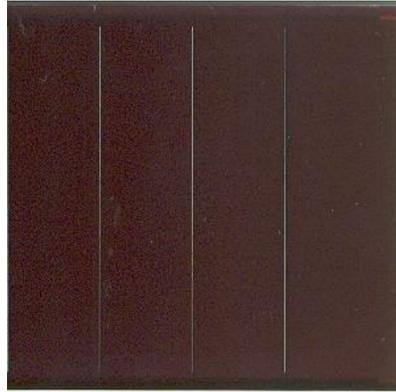


Figure.II.10 : Cellule au silicium amorphe

II.4.4. L'évolution technologique des panneaux photovoltaïque

II.4.4.1. Les panneaux solaires organiques

Ce sont des dispositifs photovoltaïques qui convertissent la lumière du soleil en électricité en utilisant des molécules organiques comme semi-conducteurs (carbone, azote...) à la place du silicium cristallin traditionnel.

Ces panneaux sont conçus en déposant une couche de matériaux organiques sur un fin substrat, comme du verre ou du plastique, puis en ajoutant des électrodes en haut et en bas de la couche organique. Quand la lumière du soleil touche le module, un champ électrique se crée à travers la couche organique, ce qui produit l'électricité.

Comme les cellules organiques sont fabriquées sur des matériaux fins, cela leur donne une certaine flexibilité, et leur permet de s'adapter sur des surfaces courbées, comme des dômes. Néanmoins, ils sont moins efficaces que les cellules solaires traditionnelles à base de silicium (le rendement est diminué de 10 % environ).

Il est possible d'utiliser les cellules photovoltaïques organiques pour créer des fenêtres à énergie solaire, ce qui pourrait concurrencer les panneaux photovoltaïques traditionnels [39].



Figure.II.11 : Les panneaux solaires organique

II.4.4.2. Les panneaux solaires en pérovskite

Ces modules sont composés de couches minces de matériaux à base de pérovskite, une structure cristalline particulière. Ces matériaux sont généralement déposés sur un substrat tel que le verre ou un matériau flexible.

Ils ont une efficacité énergétique élevée par rapport aux panneaux traditionnels en silicium, avec un rendement supérieur à 25 %. Leur conception sur des substrats flexibles, leurs permet d'être utilisés dans des domaines tels que les vêtements solaires, les équipements portables ou dans des espaces montagneux et vallonnés.

Cependant, les cellules photovoltaïques en pérovskite sont composées de plomb qui est toxique pour l'environnement [40].



Figure.II.12 : Les panneaux solaires en pérovskite

II.4.4.3. Le panneau solaire Half Cut

Les cellules font la moitié de la taille des cellules utilisées dans les panneaux solaires ordinaires à 60 ou 72 cellules. La nouvelle conception réduit les pertes internes, ce qui améliore les performances en termes de rendement énergétique, en particulier en période d'irradiance élevée. Ces modules utilisent des cellules monos ou poly.

Les modules demi-cellules est une nouvelle technique de fabrication de modules solaires qui a gagné en popularité ces dernières années. Cela offre plusieurs avantages :

- Amélioration de la performance énergétique de 5 à 8 W par panneau par rapport aux panneaux classiques.
- Rendements plus élevés - Une production plus élevée signifie plus d'unités à vendre.
- Une meilleure tolérance à l'ombrage, car si une partie du panneau est ombragée, seule la moitié correspondante est affectée, tandis que l'autre moitié continue de produire [41].

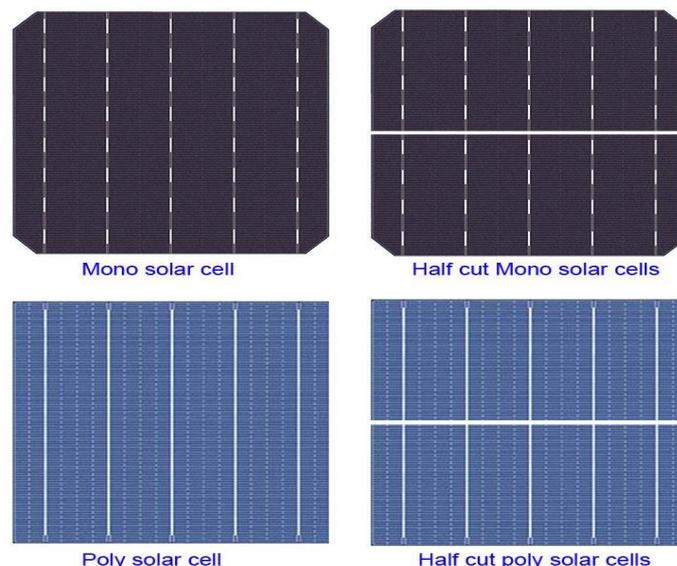


Figure. II.13: la technologie de cellule type half cut

II.4.4.4. Un panneau solaire bifacial

Un panneau solaire bifacial a la particularité de produire de l'électricité grâce aux deux faces des panneaux solaires. En effet, les panneaux photovoltaïques classiques eux, sont monofaciaux et ne produisent de l'électricité que d'un côté, sur la face avant des panneaux solaires. Ainsi, les panneaux solaires bifaces produisent de l'électricité grâce à leur face avant (qui capte

l'énergie du soleil directement) et leur face arrière (qui capte l'énergie du soleil réflétée dans son environnement). Les panneaux solaires bifaciaux produisent donc plus d'électricité que les panneaux photovoltaïques classiques. Ce type de panneaux solaires est utilisé à la fois par les particuliers que par les professionnels [42].

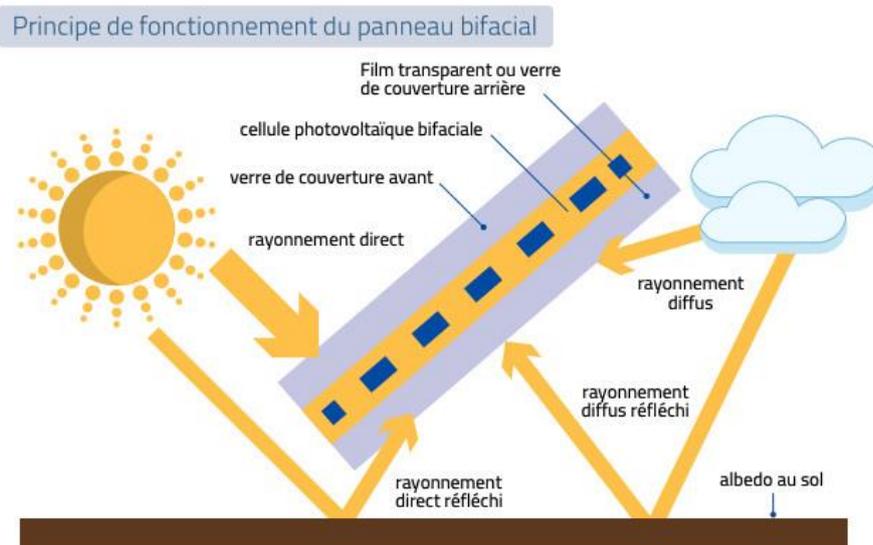


Figure. II.14: Principe de fonctionnement du panneau bifacial

Les avantages des panneaux solaires bifaciaux [43] : Double face et absorbe de l'énergie des deux côtés

- Rendement énergétique plus élevé par mètre carré, jusqu'à 30%
- Peuvent être installés à n'importe quel angle
- Garantie plus longue jusqu'à 30 ans

II.5. L'évolution des rendements des cellules photovoltaïques en laboratoire :

Les rendements déclarés des cellules de laboratoire sont de 26,8 % pour les cellules monocristallines et de 24,4 % pour la technologie basée sur des tranches de silicium polycristallin.

Les rendements de laboratoire les plus élevés dans la technologie des couches minces sont de 23,4 % pour les cellules CIGS et de 21,0 % pour les cellules CdTe Solar.

L'efficacité des cellules de laboratoire pour la pérovskite a été enregistrée à 25,2 %.

Au cours des 10 dernières années, l'efficacité des modules commerciaux de silicium basés sur des tranches monocristallines a augmenté d'environ 16 % à 22 % et au-delà.

En laboratoire, les modules les plus performants sont à base de silicium monocristallin avec un rendement de 24,7 %. Les efficacités standards démontrent le potentiel d'augmentations supplémentaires de l'efficacité au niveau de la production.

En laboratoire, les cellules solaires multi jonctions à haute concentration atteignent aujourd'hui des rendements allant jusqu'à 47,6 %. Grâce à la technologie des condenseurs, le rendement de l'unité a été atteint jusqu'à 38,9 % [44].

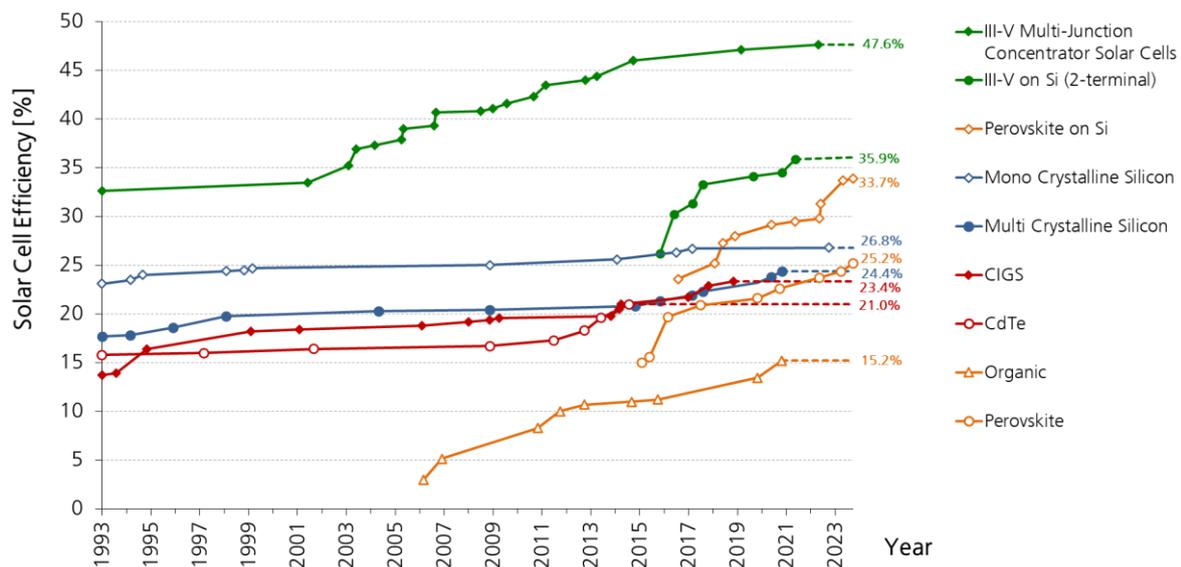


Figure. II.15: l'évolution des meilleurs rendements des cellules photovoltaïques en laboratoire [44]

Ces données mettent en évidence un développement remarquable de l'efficacité des cellules solaires, tant en laboratoire que dans les applications commerciales, au cours des dernières années. Cela montre un potentiel prometteur pour une production d'énergie solaire plus efficace et plus rentable à l'avenir.

II.6. Modélisation du panneau photovoltaïque

II.6.1. Modèle thorique

Description

Le bloc de cellules solaires représente une source de courant de cellules solaires.

Le modèle de cellule solaire comprend les composants suivants :

- Courant induit par le soleil
- Dépendance à la température
- Port thermique

II.6.1.1. Courant induit par le soleil

Le bloc représente une seule cellule solaire en tant que résistance R, qui est connectée en série avec une combinaison parallèle des éléments suivants :

- Source de courant
- Deux diodes exponentielles
- Résistance parallèle R_p

L'illustration suivante montre le schéma de circuit équivalent :

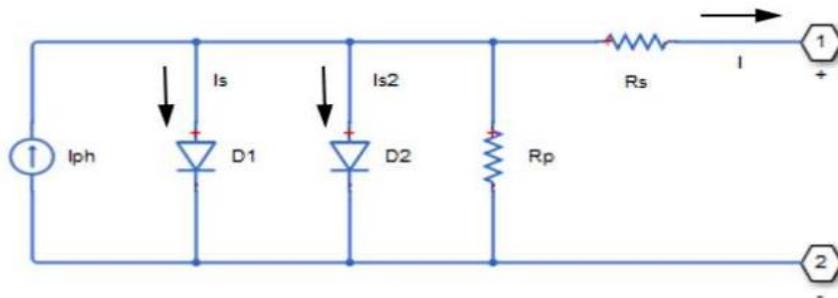


Figure. II.16 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque

Le courant de sortie I est :

$$I = I_{ph} - I_s * \left(e^{\left(\frac{V+I * R_s}{N * V_t} \right)} - 1 \right) - I_{s2} * \left(e^{\frac{V+I * R_s}{N_2 * V_t}} - 1 \right) - (V + I * R_s) / R_p$$

où :

- I_{ph} : est le courant induit par le soleil :

$$I_{ph} = I_{ph0} * \frac{I_r}{I_{r0}}$$

Où :

- I_r : est l'irradiance (intensité lumineuse), en W/m², tombant sur la cellule.

- I_{ph0} : est le courant solaire généré mesuré pour l'irradiance I_{r0} .
- I_s : est le courant de saturation de la première diode.
- I_{s2} : est le courant de saturation de la deuxième diode.
- V_t : est la tension thermique, $k * T/q$, où :
 - k : est la constante de Boltzmann.
 - T : est la valeur du paramètre de température de simulation de l'appareil.
 - q : est la charge élémentaire sur un électron.
- N : est le facteur de qualité (coefficient d'émission des diodes) de la première diode.
- N_2 : est le facteur de qualité (coefficient d'émission des diodes) de la deuxième diode.
- V : est la tension à travers les ports électriques de cellules solaires.

Le facteur de qualité varie pour les cellules amorphes, et est typiquement 2 pour les cellules polycristallines.

Le bloc permet de choisir entre deux modèles :

- Un modèle à 8 paramètres où l'équation précédente décrit le courant de sortie
- Un modèle à 5 paramètres qui applique les hypothèses simplificatrices suivantes à l'équation précédente :
 - Le courant de saturation de la deuxième diode est nul.
 - L'impédance de la résistance parallèle est infinie.

Si nous choisissons le modèle à 5 paramètres, vous pouvez sélectionner ce bloc en termes de paramètres du modèle de circuit équivalent précédent ou en termes de courant de court-circuit et d'effort de circuit ouvert que le bloc utilise pour dériver ces paramètres.

Tous les modèles ajustent la résistance de masse et les paramètres actuels en fonction de la température.

Nous pouvons modéliser n'importe quel nombre de cellules solaires connectées dans une chaîne en utilisant un seul bloc de cellules solaires en définissant les coefficients de numéro de chaîne pour chaque chaîne à une valeur supérieure à 1. En interne, la masse imite toujours seulement les équations d'une cellule solaire, mais augmente la tension de sortie en fonction du

nombre de cellules. Il en résulte une simulation plus efficace que si les équations étaient simulées pour chaque cellule individuellement.

Si nous voulons modéliser les cellules N en parallèle, nous pouvons le faire pour les cellules individuelles en mesurant les valeurs des paramètres en conséquence. Frapper le courant de court-circuit, le courant de saturation de diode, les courants générés par le soleil dans N, la résistance de chaîne divisée sur N pour relier des blocs de cellules solaires en parallèle, chaque bloc a plusieurs versions de masse et se rapporte en conséquence.

II.6.1.2. Dépendance à la température

Plusieurs paramètres de cellules solaires dépendent de la température. La température de la cellule solaire est spécifiée par la valeur du paramètre de température de simulation de l'appareil.

Le bloc fournit la relation suivante entre le courant induit par le soleil I_{ph} et la température de la cellule solaire T :

$$I_{ph}(T) = I_{ph} * (1 + TIPH1 * (T - T_{meas}))$$

Où :

$TIPH1$: est le coefficient de température du premier ordre pour I_{ph} , $TIPH1$ valeur du paramètre.

T_{meas} :est la valeur du paramètre de température de mesure.

Le bloc fournit la relation suivante entre le courant de saturation de la première diode I_s et la température de la cellule solaire T :

$$I_s(T) = I_s * \left(\left(\frac{T}{T_{meas}} \right)^{(TXIS1/N)} * e^{(EG * (\frac{T}{T_{meas}} - 1) / (N * V_t))} \right)$$

$TXIS1$: est l'exposant de température pour I_s , valeur du paramètre $TXIS1$.

Le bloc fournit la relation suivante entre le courant de saturation de la deuxième diode I_{s2} et la température de la cellule solaire T :

$$I_{s2}(T) = I_{s2} * \left(\frac{T}{T_{meas}}\right)^{(TXIS2/N2)} * e^{(EG*(\frac{T}{T_{meas}}-1)/(N2*V_t))}$$

$TXIS2$: est l'exposant de température pour I_{s2} , valeur du paramètre $TXIS2$.

Le bloc fournit la relation suivante entre la résistance en série R_s et la température de la cellule solaire T :

$$R_s(T) = R_s * \left(\frac{T}{T_{meas}}\right)^{TRS1}$$

$TRS1$: est l'exposant de température pour R_s , valeur du paramètre $TRS1$.

Le bloc fournit la relation suivante entre la résistance parallèle R_p , et la température de la cellule solaire T :

$$R_p(T) = R_p * \left(\frac{T}{T_{meas}}\right)^{TRP1}$$

$TRP1$: est l'exposant de température pour R_p , valeur du paramètre $TRP1$.

II.6.1.3. Port thermique

Le modèle de port thermique, représenté dans l'illustration suivante, représente uniquement la masse thermique de l'appareil. La masse thermique est directement connectée au port thermique H. Un bloc interne Ideal Heat Flow Source fournit un flux thermique au port et à la masse thermique. Ce flux de chaleur représente la chaleur générée en interne.

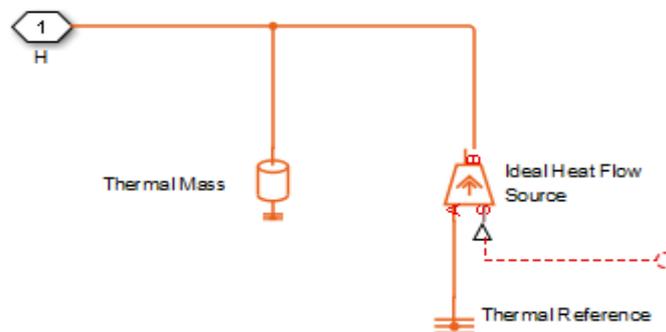


Figure. II.17 : Le modèle de port thermique

La chaleur générée en interne par les pertes électriques est un effet de chauffage distinct de celui de l'irradiation solaire. Pour modéliser le chauffage thermique dû à l'irradiation solaire, vous devez en tenir compte séparément dans votre modèle et ajouter le flux de chaleur au nœud physique connecté au port thermique de la cellule solaire [45]

II.6.2. Modélisation et simulation sur Matlab Simulink

- **Petite présentation Matlab Simulink**

Est une plate-forme de simulation multi-domaine et de modélisation des systèmes dynamiques. Il fournit un environnement graphique et un ensemble de bibliothèques contenant des blocs de modélisation qui permettent le design précis, la Simulation, l'implémentation et le contrôle de systèmes de communications et de traitement du signal [46].

- **Le model de simulation d'une cellule solaire**

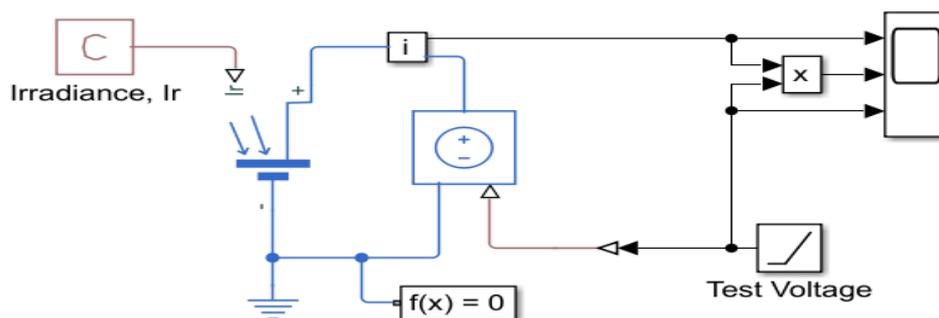


Figure. II.18: le modèle de simulation d'une cellule solaire

- **Les paramètre de modélisation de la cellule**

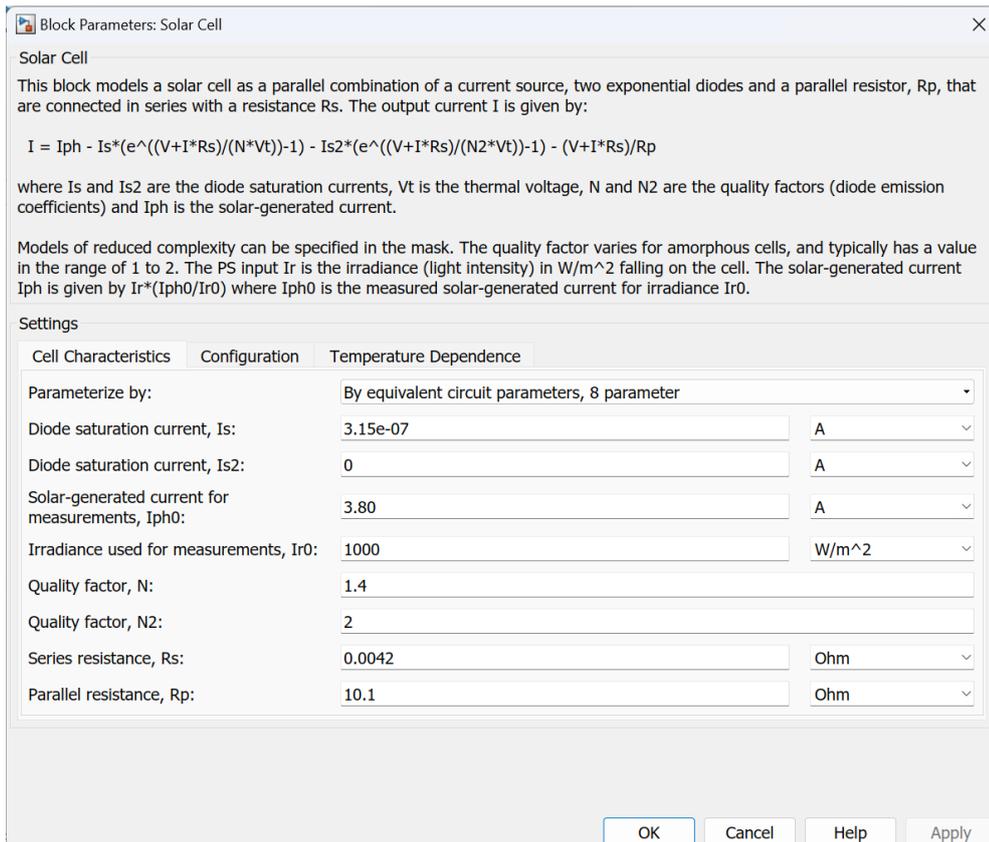


Figure. II.19 : caractéristiques cellulaires

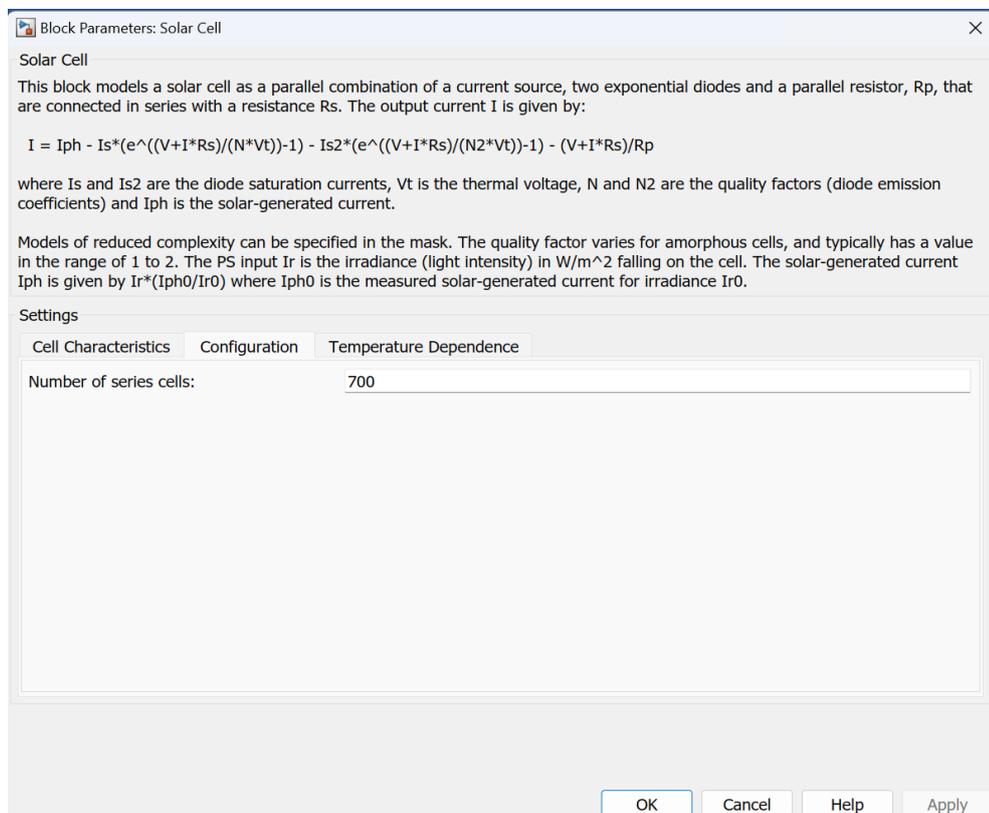


Figure. II.20: configuration

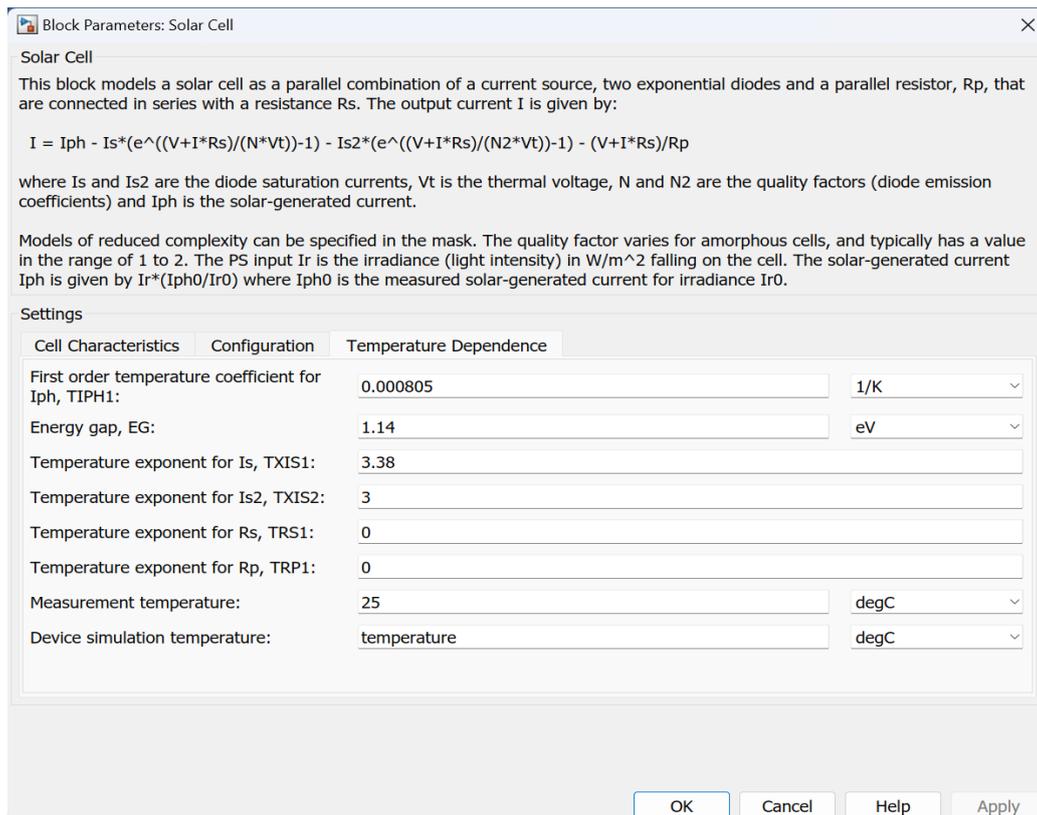


Figure. II.21: Dépendance de température

- 1- Le code source du contrôleur de voltage
- 2- `component` controlled voltage
- 3- `% Controlled Voltage Source`
- 4- `% The block represents an ideal voltage source that is powerful enough`
- 5- `% to maintain the specified voltage at its output regardless of the`
- 6- `% current passing through it. The output voltage is V = Vs, where`
- 7- `% Vs is the numerical value presented at the physical signal port.`
- 8-
- 9- `% Copyright 2005-2013 The MathWorks, Inc.`
- 10-
- 11- `inputs`
- 12- `VT = { 0, 'V' }; % :bottom`
- 13- `end`
- 14-
- 15- `nodes`
- 16- `p = foundation.electrical.electrical; % :top`
- 17- `n = foundation.electrical.electrical; % :bottom`
- 18- `end`
- 19-
- 20- `variables(Access=private)`
- 21- `i = { 0, 'A' };`
- 22- `v = { 0, 'V' };`
- 23- `end`
- 24-

```

25- branches
26-  i : p.i -> n.i;
27- end
28-
29- equations
30-  v == p.v - n.v;
31-  v == vT;
32- end
33-
34- end

```

- Le block de simulation du courant et son source code

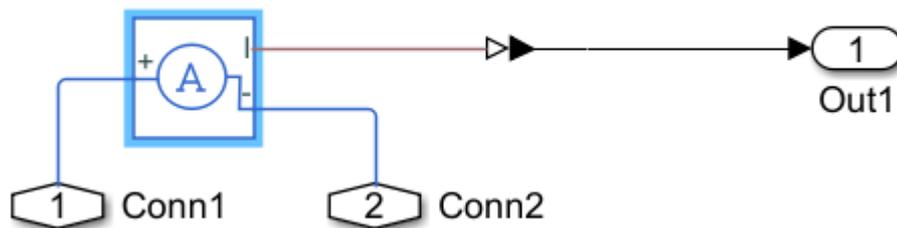


Figure. II.22 : Le block de simulation du courant et son source code

```

component current
% Current Sensor
% The block represents an ideal current sensor, that is, a device that
% converts current measured in any electrical branch into a physical signal
% proportional to the current.
%
% Connections + and - are conserving electrical ports through which
% the sensor is inserted into the circuit.
% Connection I is a physical signal port that outputs current value.

% Copyright 2005-2019 The MathWorks, Inc.

outputs
  I = { 0.0, 'A' }; % I:right
end

nodes
  p = foundation.electrical.electrical; % +:left
  n = foundation.electrical.electrical; % -:right
end

variables(Access=private)
  il = { 0, 'A' }; % Current

```

end

branches

```
i1 : p.i -> n.i;
```

end

equations

```
n.v == p.v;
```

```
I == i1;
```

end

end

- **Les paramètres de l'irradiation**

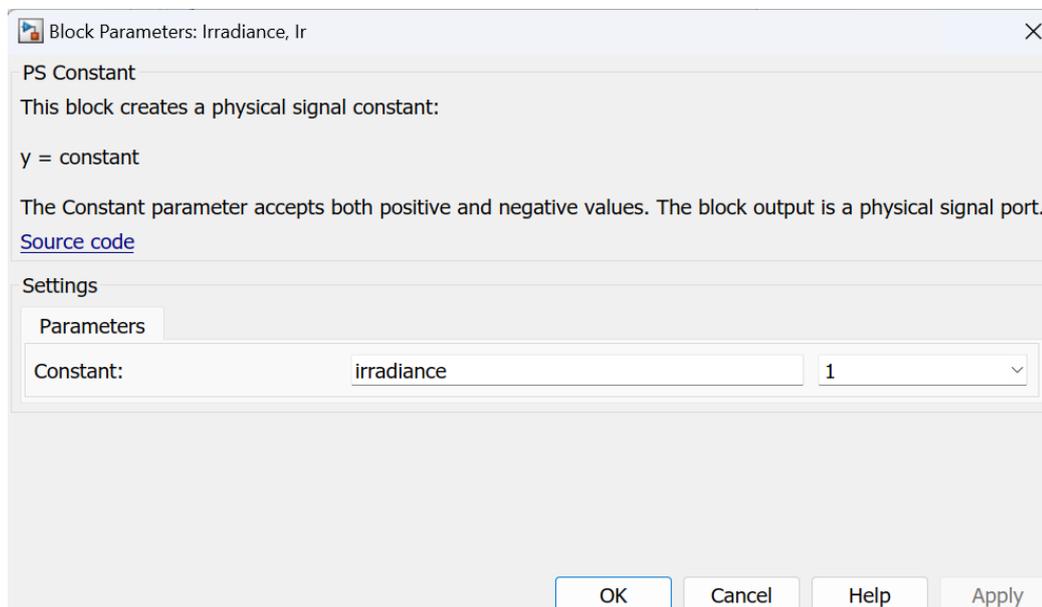


Figure. II.23 : Les paramètres de l'irradiation

- **Résultats de simulation**

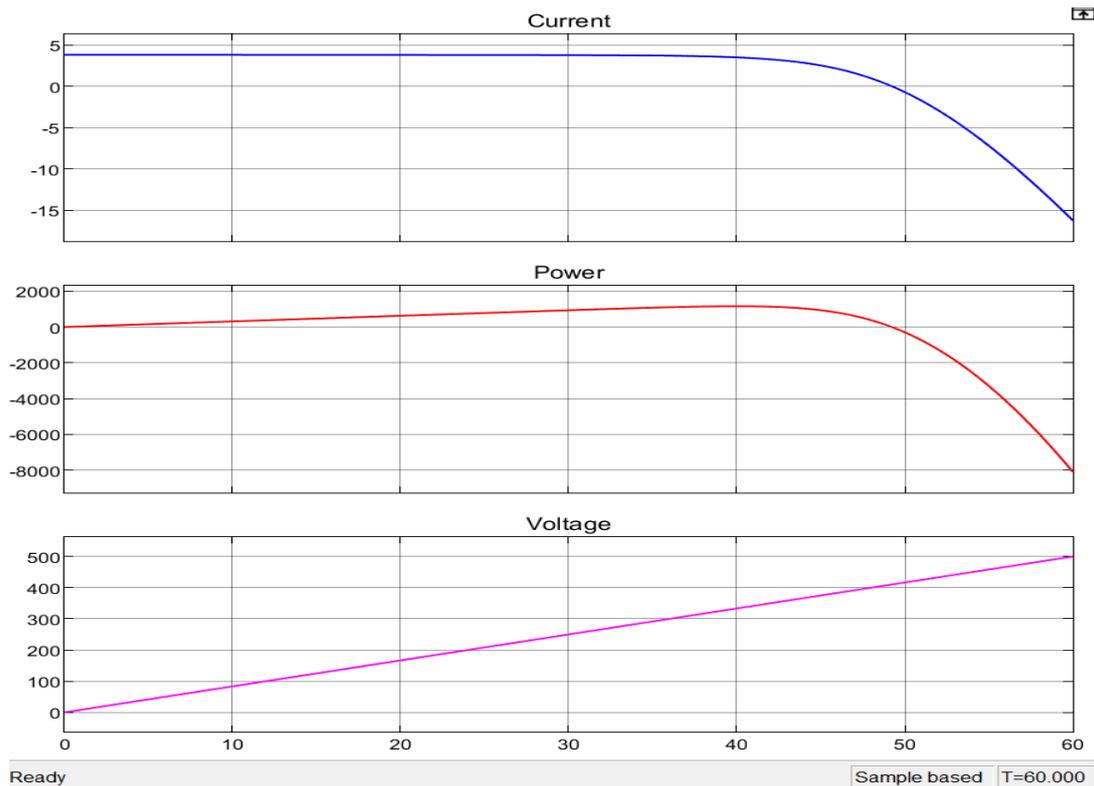


Figure.II.24 : Résultats de simulation

- **Explication des 03 courbes**

Graph de Courant

Le courant démarre à une valeur d'environ 5 ampères et reste constant pendant une période de temps significative.

- Après environ 45 secondes, le courant commence à diminuer rapidement et atteint une valeur négative au bout de 60 secondes.

- Cela indique que le système maintient initialement un courant constant avant qu'une chute soudaine ne se produise, peut-être en raison d'un changement soudain de circuit ou de charge.

Graph de puissance

- Le graphique de puissance commence à 0 et augmente linéairement jusqu'à atteindre un pic vers 45 secondes.

- Après avoir atteint le pic, la puissance commence à diminuer rapidement, atteignant des valeurs significativement négatives au bout de 60 secondes.

-La puissance est le produit du courant et de la tension. Une augmentation de puissance correspond initialement à une augmentation de tension alors que le courant reste constant. Une chute rapide de puissance correspond à une diminution du flux de courant, tandis qu'une augmentation de puissance négative indique que le système peut consommer de l'énergie ou rencontrer un dysfonctionnement.

Graph de Tension

- La tension augmente linéairement de 0 watts à environ 500 volts en 60 secondes.
- Aucun signe de chute de tension ou d'anomalie ; elle augmente simplement de manière constante.
- Cela montre que la source de tension augmente sa puissance avec le temps.

II.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait des explications générales sur l'énergie solaire photovoltaïque, où nous avons pu découvrir le concept de conversion photovoltaïque ainsi que les différentes technologies utilisées pour parvenir. Des éléments technologiques et électriques ont été examinés afin de mieux comprendre l'ensemble du processus de conversion photovoltaïque. Enfin, nous avons présenté une modélisation de panneaux photovoltaïques.

Chapitre III : dimensionnement de la centrale photovoltaïque

Chapitre III : dimensionnement de la centrale photovoltaïque

III.1. Introduction

Dans ce chapitre de notre étude de cas nous nous concentrons sur une analyse approfondie du bilan énergétique de l'atelier ainsi qu'une présentation des équipements énergétiques actuellement en service ainsi que sur le domaine de l'énergie solaire et de l'effet d'ombre. Enfin, nous présenterons deux propositions de systèmes mentionnant leurs avantages et inconvénients.

III.2. Etude du besoin en Energie

III.2.1. Bilan énergétique

Équipement	Nombre	Temps d'utilisations(h)	Puissance (W)	Puissance(W) P*N	Energie (Wh/j)
La Fraiseuse (FE300)	4	8	14317	57268	458144
Tour (Parallèle)	4	8	7500	30000	240000
Éclairage (LED)	152	8	36	5472	43776
				92740	Energie journalière : 741920

Tableau.III.1 : bilan énergétique

III.2.2. Présentation des équipements

- **La Fraiseuse**

Les fraiseuses sont des machines-outils par enlèvement de copeaux, caractérisées par l'utilisation d'outils tournants, appelés forets de précision. Ils sont conçus pour usiner des surfaces planes, cylindriques, coniques et / ou hélicoïdales.

Le mouvement de travail de l'outil est toujours en rotation autour de son propre axe, tandis que la pièce a un mouvement de translation ou de rotation combiné. La plupart des fraiseuses ont une seule broche, mais il existe aussi des types multibroches.

Dans l'atelier dans lequel nous étudions les fraiseuses universelles se trouvent celles qui combinent les fonctions de fraiseuses horizontales et verticales. Dans les fraiseuses générales, la table à pièces peut également être rotative [47].



Figure.III.1 : La Fraiseuse (FE300)

- **Tour**

Le tour parallèle Le tour (fig.1) est une machine d'outillage conçue pour le travail unitaire et la petite série. Il permet la réalisation de différentes surfaces nécessitant toujours une rotation de la pièce autour d'un axe de révolution. Durant le processus de tournage la pièce à usiner effectue des rotations dans le tour. L'outil de coupe opère longitudinalement ou bien transversalement par rapport à la pièce à usiner. Le travail de l'outil de coupe s'opère à une vitesse déterminée, c'est ce que l'on appelle la vitesse d'avance. Une certaine profondeur de coupe est de plus nécessaire pour le détachement des copeaux [48].



Figure.III.2 : Tour (Parallèle)

- Eclairage



Figure. III. 3 : Éclairage (LED)

III.3. Etude du site

III.3.1. Gisement solaire en Algérie

L'étude du gisement solaire est le point de départ de toute investigation dans le domaine de l'énergie solaire. Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible dans un lieu donné et au cours d'une période donnée. Son évaluation peut se faire à partir des données de l'irradiation solaire globale. Elle est utilisée pour simuler le fonctionnement probable d'un système énergétique solaire et donc d'effectuer son dimensionnement le plus exacte possible compte tenu des demandes en énergie à satisfaire. De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde.

La durée d'insolation moyenne nationale dépasse les 2000 heures annuellement. Cette valeur peut atteindre facilement les 3900 heures dans les hauts plateaux et le Sahara. Ainsi, l'énergie moyenne reçue quotidiennement sur une surface inclinée à la latitude est d'environ $7 \text{ kWh/m}^2 / \text{jour}$ [49]. Elle est répartie comme suit :

-Au Nord : $5,6 \text{ kWh/m}^2 / \text{jour}$

-Au Sud : $7,2 \text{ kWh/m}^2 / \text{jour}$

La figure (III.4) montre l'irradiation globale moyenne annuelle reçue sur plan incliné à la latitude du lieu.

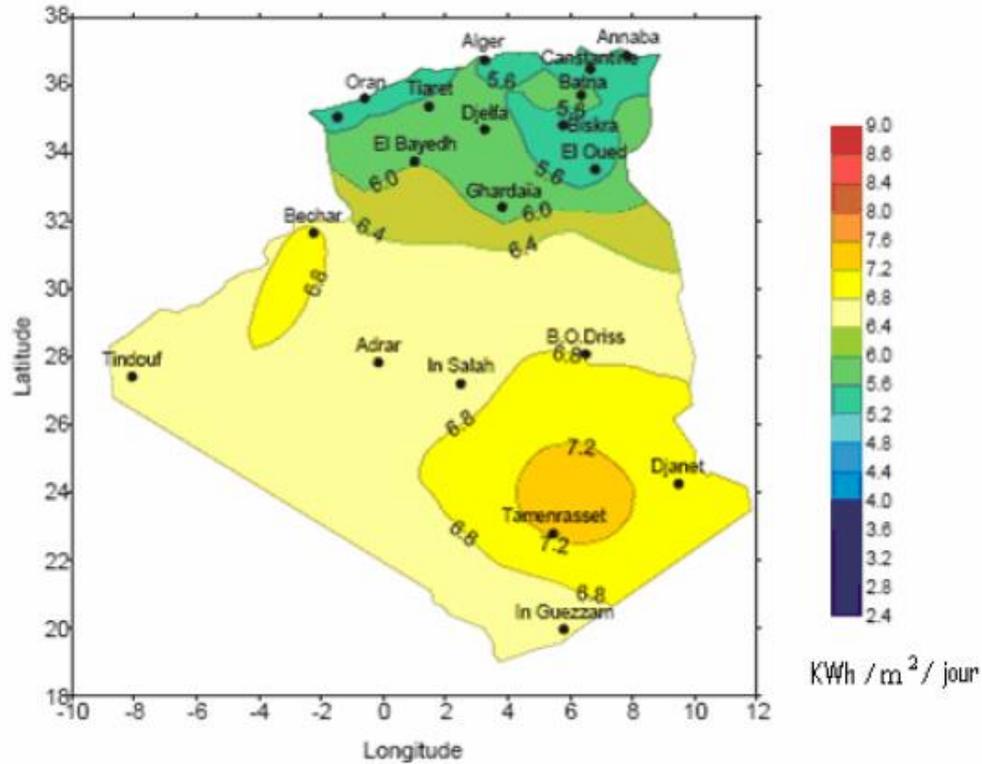


Figure.III.4 : Irradiation solaire globale en Algérie

III.3.2. Ombrage

La sensibilité des panneaux solaires photovoltaïques à l'ombre est extrême. La capacité de production d'énergie est grandement affectée par les conditions d'ombrage totale ou partielle, ce qui peut entraîner des pertes.

- **Ombrage partiel**

L'ombrage partiel laisse passer une partie des rayons du soleil. C'est le cas par exemple lorsqu'il y a un arbre à proximité des panneaux et que cela crée une ombre dessus.

Dans ce cas, certains photons (particules de lumière solaire) peuvent encore atteindre les panneaux, Mais cela réduit considérablement la quantité de lumière captée par ceux-ci.

- **L'ombrage total**

Le deuxième type d'ombrage qu'on peut observer est l'ombrage total, ou complet. C'est le cas lorsqu'un élément vient totalement recouvrir vos panneaux : une couverture, des feuilles mortes, de la saleté, etc.

Dans ce cas, aucune lumière ne peut atteindre la ou les cellules photovoltaïques recouvertes. Cela a un impact encore plus fort sur votre production d'électricité[50].

III.3.3. Des solutions pour limiter l'impact des ombrages

- **Le micro-onduleur**

En choisissant de poser des micro-onduleurs, chacun des panneaux (ou chaque paire de panneaux) est relié à son propre onduleur, de manière indépendante. Le fait qu'une cellule soit touchée par une ombre totale n'a donc pas de conséquence sur l'ensemble de la production. Celle-ci sera seulement réduite de la part correspondant à la production du panneau touché.

- **Les diodes by-pass**

Les nouveaux panneaux solaires sont désormais équipés de diodes by-pass. Cela permet, au sein d'un panneau solaire, de ne pas couper l'ensemble de la production si une cellule se trouve à l'ombre.

Si un panneau est par exemple équipé de 3 diodes by-pass et qu'une ombre impacte une cellule, alors l'ensemble de la série de cellules branchée sur cette diode est court-circuité. Les deux autres continuent de produire normalement.

- **Le positionnement des panneaux**

Enfin, il est très important d'étudier attentivement l'emplacement des panneaux solaires avant de les installer. En effet, il faut remarquer tout au long de la journée les différentes ombres qui peuvent affecter la production [50].

III.4. Proposition du système

Nous avons opté pour 2 propositions et cela pour une comparaison du meilleur système :

III.4.1. Système isolé avec backup

Ce système permet de générer de l'électricité d'autonome pour l'alimentations d'une partie des équipements.

- **Avantages**

- Grâce à des batteries et à un générateur de secours, ces systèmes peuvent fournir une alimentation continue tout au long de la journée, même lorsqu'il n'y a pas de soleil.
- Lorsque les batteries sont épuisées, les générateurs de secours prennent le relais, assurant ainsi une alimentation électrique continue.

Chapitre III : dimensionnement de la centrale photovoltaïque

- **Inconvénients**

- Le coût d'installation est plus élevé en raison de la nécessité d'acheter des batteries de stockage, un générateur et des panneaux solaires.
- Complexité de l'Installation.

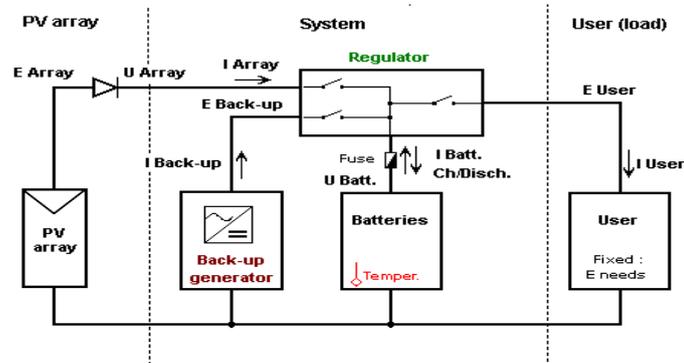


Figure. III. 5 : Schéma simplifié d'une installation PV autonome

III.4.2. Système raccordé au réseau

Ce système est simple pour la mise en œuvre

- **Avantages**

- Rentable : Avec les systèmes en réseau, il n'y a pas besoin de batterie de secours, ce qui réduit considérablement le coût initial.
- N'ont pas besoin de stockage d'énergie et éliminent donc le maillon le plus problématique (et plus cher) d'une installation autonome. C'est en fait le réseau dans son ensemble qui sert de réservoir d'énergie.
- Pas de gaspillage - tout excédent est livré au réseau

- **Inconvénient**

- Lorsque l'électricité du réseau public est coupée, l'onduleur est automatiquement déconnecté.

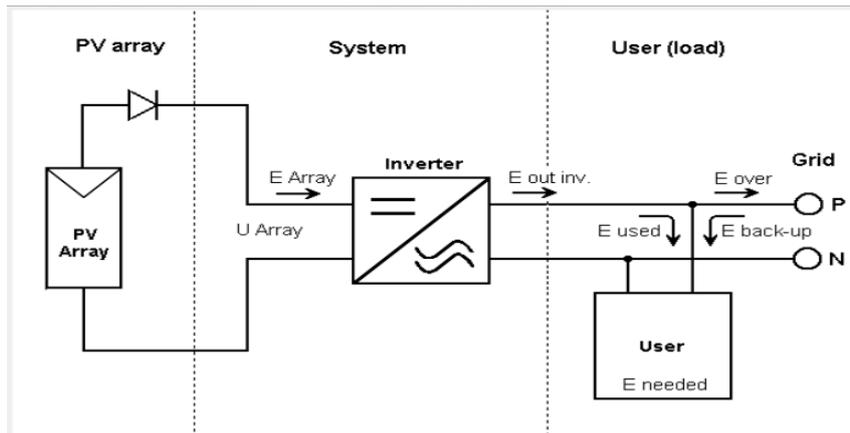


Figure.III.6 : Schéma simplifié d'une installation PV connectée au réseau

III.5. Présentation des équipement choisis

- **Convertisseur**

Tension d'entrée DC 12V

Tension de sortie AC 110V 220V

Puissance nominale 1000W

Le pic de puissance 2000W



Figure.III.7 : convertisseur display power

Chapitre III : dimensionnement de la centrale photovoltaïque

- **Panneaux solaires**

Le constructeur des panneaux solaire propose des modules PV Jinkosolar (JKM 315M-60H-TV) monocristalline de puissance 315Wc 28v.

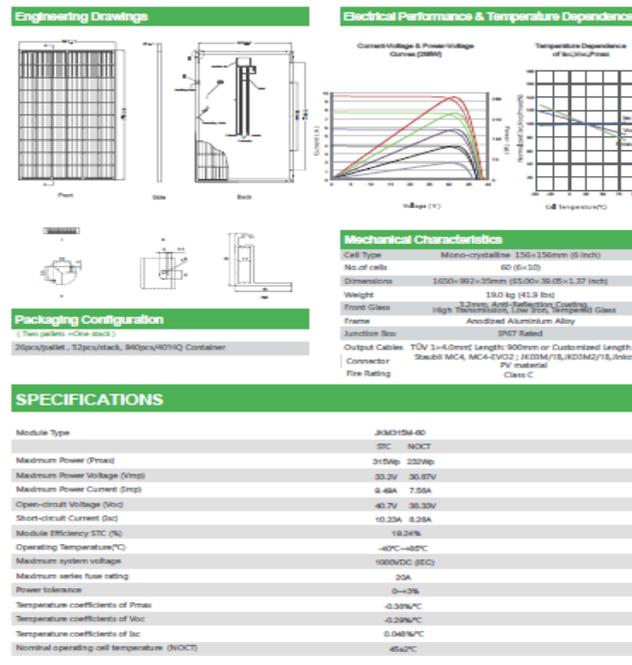


Figure.III.8 : Panneaux jinkosolar monocristalline

- **Batterie**

La batterie choisie est de marque Narada de 200h



Figure.III.9 : Batterie Narada

Chapitre III : dimensionnement de la centrale photovoltaïque

- **Groupe électrogène**
 - Puissance nominale : 25kW
 - Puissance maximale : 27kW



Figure.III.10 : groupe électrogène HYUNDAI

- **Onduleur**

Onduleur choisie est de marque Vacon de 200KW



Figure.III.11 : onduleur Vacon

III.6. Conclusion

L'énergie solaire et l'ombrage sont importants pour améliorer la productivité et la rentabilité des projets solaires. Il est possible de tirer parti du potentiel solaire disponible et de minimiser les effets négatifs de l'ombrage. Nous pouvons promouvoir une transition vers une énergie plus propre et durable, tout en trouvant des solutions énergétiques efficaces pour répondre aux besoins énergétiques croissants.

Les systèmes photovoltaïques connectés au réseau sont généralement plus faciles à installer, mais cela dépend de la disponibilité du réseau. Les systèmes de batteries isolées offrent une autonomie plus grande et peuvent être utilisés dans des endroits éloignés, mais ils sont plus complexes à installer.

Chapitre IV : Simulation et discussion des résultats

IV.1. Introduction

Afin d'exploiter une installation solaire photovoltaïque, il est important de simuler et de déterminer le dimensionnement d'une station photovoltaïque connectée au réseau électrique et isolée par la batterie à l'aide du logiciel PVSYST dans les ateliers de fabrication mécanique. Nous décrirons également la localisation du projet. Et la liste du projet et les types de panneaux et de batteries, et le reste des éléments sélectionnés pour la simulation, et nous discuterons de l'étude économique de chaque système. Ensuite, nous ferons une simulation 3D de la centrale photovoltaïque.

IV.2. Présentation du logiciel PVSYST

PV SYST est conçu pour être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs, mais c'est aussi un outil pédagogique très utile. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détail la procédure et les modèles utilisés et offre une approche ergonomique avec guide dans le développement d'un projet. PVSYST permet d'importer des données météo d'une dizaine de sources différentes ainsi que des données personnelles [51].

IV.3. Présentation des résultats de simulation

Le site que nous allons étudier, est l'atelier mécaniques (EX INGM) qui se situe dans la région de Boumerdes.

- **Situation géographique**

Les coordonnées géographiques cette région se présentent comme suit :36.7544 ° degrés de latitude, longitude 3.4731°.



Figure.IV.1 : Localisation du site étudié

- **Données météorologiques du site**

Après avoir déterminé l'emplacement, logiciel PVSYST nous fournit des données météorologiques sous la forme de modèles de données mensuels représentant le rayonnement, la température moyenne et la vitesse du vent et l'humidité.

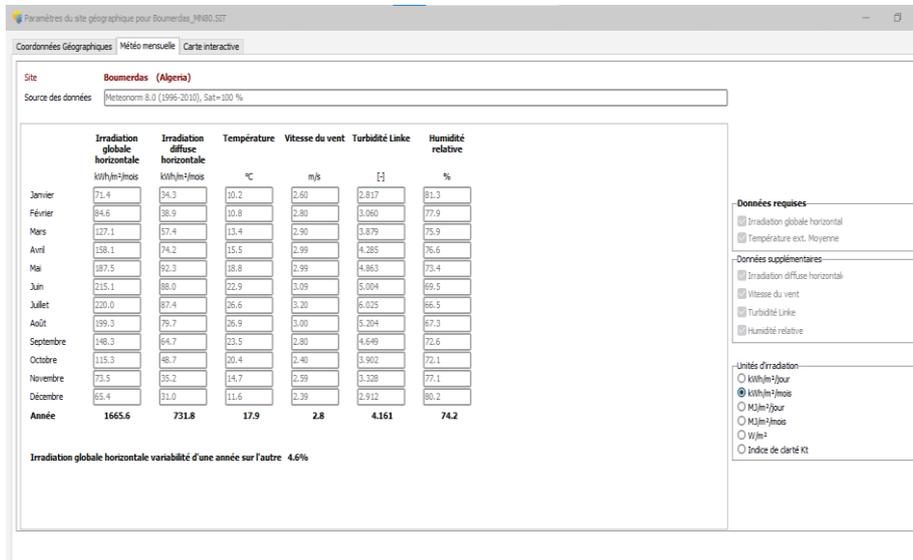


Figure. IV.2 : Caractéristiques climatiques du site étudié

- **Orientation des panneaux**

Nous sélectionnons « Orientation » afin de déterminer notre angle d'inclinaison parfait, Il est essentiel de choisir des orientations et inclinaisons adéquates pour la production d'énergie. Un azimut de 0 degré et une inclinaison de 30 degrés ont été sélectionnés, ce qui correspond à l'inclinaison optimale proposée par le programme PV system.

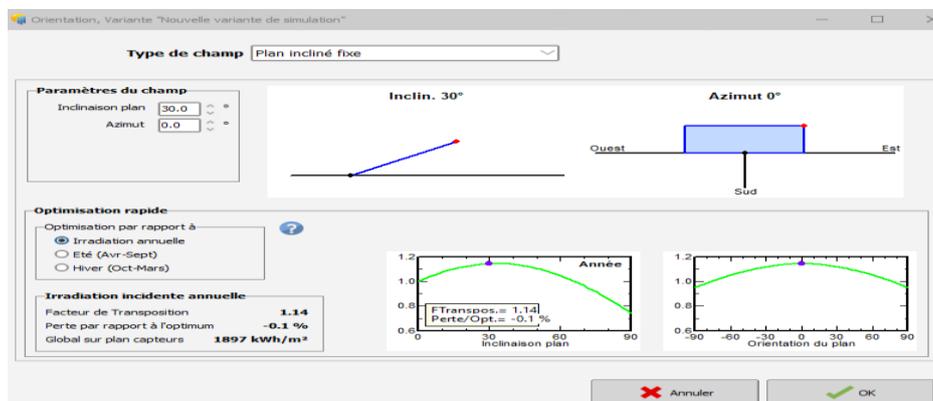


Figure.IV.3 : Orientation des panneaux

IV.3.1 Simulation du système isolé avec off Grid

- Détermination des besoins électriques

Après avoir présenté l'angle d'inclinaison, nous passons à énumérer les besoins des utilisateurs (consommation journalière), illustrés par la figure ci-dessous :

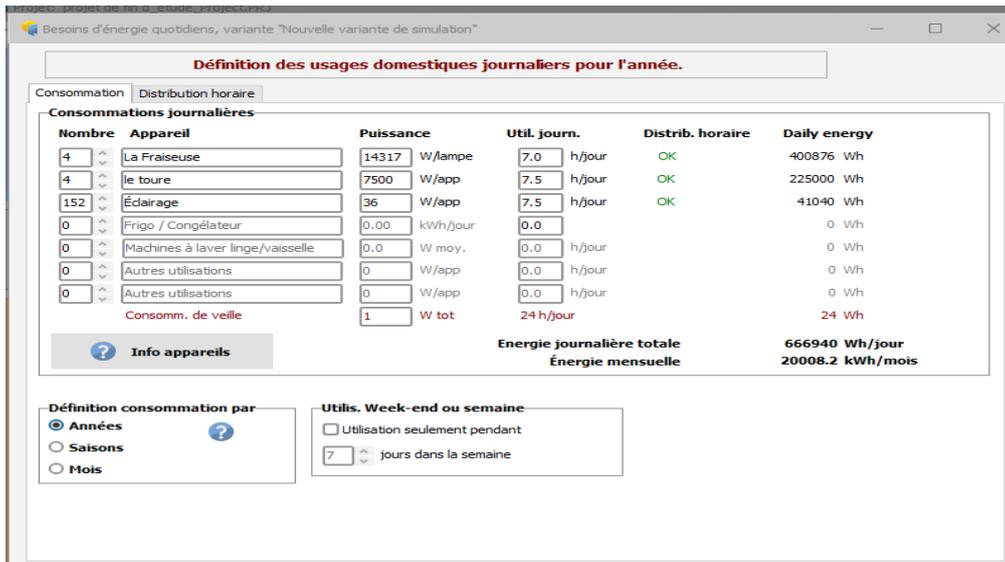


Figure. IV.4 : Détermination des besoins électriques

- Distribution horaire de la charge

Une fois que les différentes outilles utilisées ont été présentées, ainsi que leurs nombres, leurs puissances et le temps d'utilisation pendant une journée, on sélectionne « Distribution horaire » pour répartir les heures d'utilisation dans la journée pour chaque outille.

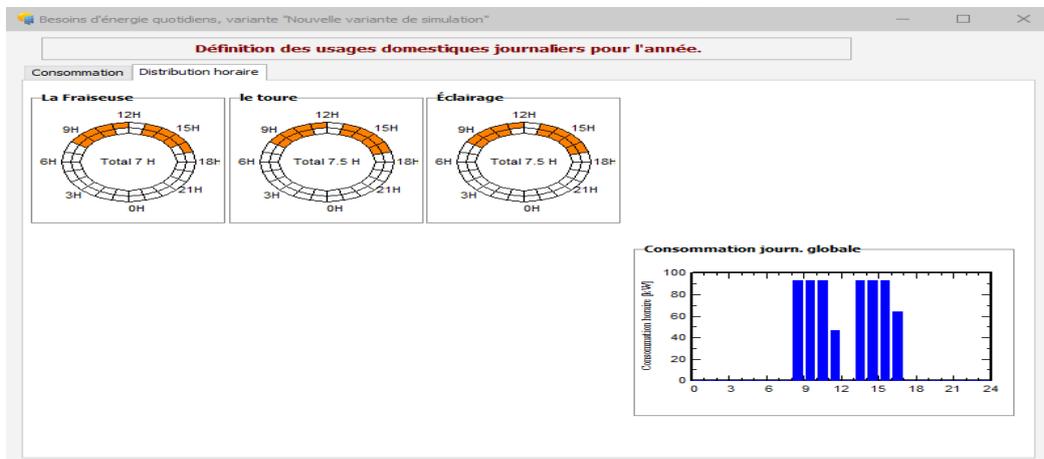


Figure.IV.5 : Distribution horaire de la charge

- **Dimensionnement du parc de batteries**

Pour dimensionner parc de batteries, nous avons choisi des batteries acides au plomb de 12 volts avec une capacité de 200 chacune. Nous avons décidé d'organiser ces batteries (10 en série et 20 en parallèle) pour atteindre besoins en matière de tension et de capacité totale .

Procédure

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

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

Définissez le pack de batteries

Trier les batteries selon tension capacité fabricant

Narada 12 V 200 Ah Pb Sealed Gel AcmeG 12V 200 Depuis 2018

Pb-acide

10 batteries en série Nombre de batteries **200**

20 batteries en parallèle Nombre d'éléments **1200**

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

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

Tension du pack batteries **120 V**

Capacité globale **4150 Ah**

Energie stockée (80 % DOD) **432 kWh**

Poids total **12200 kg**

Nbre de cycles à 80 % DOD **1000**

Energie totale stockée durant la vie de la batterie **439 MWh**

Température batterie en opération

Mode tempér.

Température fixée °C

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

La puissance effective d'appoint est insuffisante par rapport aux besoins de l'utilisateur (charge maximale = 93 kW).

Figure.IV.6 : Dimensionnement du parc de batteries

- **Dimensionnement du champ PV**

Plusieurs technologies existantes pour les modules PV, pour cela le dimensionnement du module est basé selon plusieurs critères comme les besoins électriques de l'installation et le choix d'une technologie qui réduit au maximum le nombre de batteries sans avoir un manque d'énergie.

Ainsi, comme c'est indiqué sur la figure (IV.7) le type de module choisi dans le cas de cette présente étude est de type : 315W et 28V monocristallin, jinko solar.

Avec un champ PV de 450 panneaux (6en série et 75 en parallèle)

La surface du champ PV est : 733m²

Et nous avons choisi un convertisseur MPPT 1000W 120 V (1301A -733A).

Définition d'un système isolé avec batteries, Variante "Nouvelle variante de simulation", Variant "Nouvelle variante de simulation"

Besoins jour. moyens 667 kWh/jour
 Déf. la PLOL acceptable 5.0 %
 Autonomie requise 2.0 jour(s)
 Tension batterie (et utilis.) 264 V
 Capacité conseillée 5944 Ah
 Puissance PV conseillée 235674 Wc (nom.)

Pré-dimens. détaillé

Stockage Champ PV Appoint Schéma simplifié

Nom et orientation du sous-champ
 Nom Champ PV
 Orient. Plan incliné fixe
 Inclinaison 30°
 Azimut 0°

Aide au dimensionnement
 Pas de prédim.
 Entrez Pnom désirée 249.1 kWc
 ... ou surface disponible 0 m²

Sélection du module PV
 Disponibles
 Tri modules par Puissance Technologie
 Jinkosolar 315 Wp 28V Si-mono JKM-315M-60H-TV Depuis 20: Ouvrir

Modules nécessaires approx. 0 Dimens. des tensions : Vmpp (60°C) 28.9 V
 Vco (-10°C) 44.0 V

Choisissez le mode de régulation et le régulateur
 Régulateur universel _Générique
 Convertisseur de puissance MPPT
 Mode d'opération
 Couplage direct
 Convertisseur MPPT
 Convertisseur DC-DC
 Courants max. de charge - décharge
 MPPT 1000 W 120 V 1299 A 773 A Universal controller with MPPT conve Ouvrir

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

Conception champ PV

Nombre de modules et chaînes
 Mod. en série 6 doit être: Pas de contrainte
 Nb. chaînes 75 entre 105 et 159

Cond. de fonctionnement:
 Vmpp (60°C) 173 V
 Vmpp (20°C) 203 V
 Vco (-10°C) 264 V

Irradiance plan 1000 W/m²
 Imp (60°C) 716 A
 Isc (60°C) 762 A
 Isc (aux STC) 758 A

Puiss. max. en fonctionnement (à irradi. max. et 50°C) 129 kW
 Puiss. nom. champ (STC) 142 kWc

Figure.IV.7 : Dimensionnement du champ PV

- Dimensionnement de groupe électrogène

Nous avons choisi un groupe électrogène d'une puissance 25 KW.

Définition d'un système isolé avec batteries, Variante "Nouvelle variante de simulation", Variant "Nouvelle variante de simulation"

Besoins jour. moyens 667 kWh/jour
 Déf. la PLOL acceptable 5.0 %
 Autonomie requise 2.0 jour(s)
 Tension batterie (et utilis.) 264 V
 Capacité conseillée 5944 Ah
 Puissance PV conseillée 247923 Wc (nom.)

Pré-dimens. détaillé

Stockage Champ PV Appoint Schéma simplifié

Groupe électrogène
 Utilise un groupe électrogène StdGenerato2_5.GEN : Back-up generator 25 kW Ouvrir

Capa. Pleine charge Puissance nominale 25.0 kW Tension batterie 120 V Courant de charge 208.3 A
 Fonctionnement effectif Puissance 25.0 kW Tension batterie 120 V Courant de charge 208.3 A

Figure.IV.8 : Dimensionnement de groupe électrogène

- Lancement de La simulation

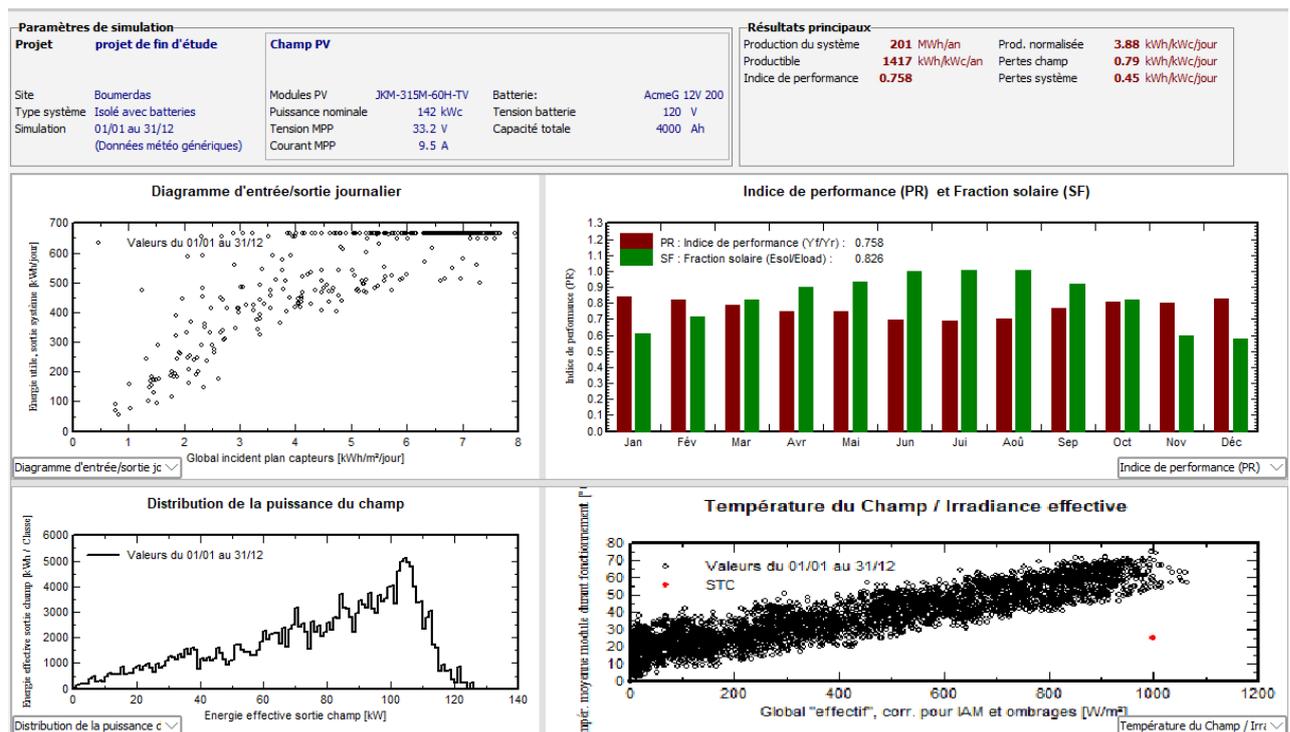


Figure.IV.9 : Lancement de La simulation

IV.3.1.1. Analyse et discussion des résultats

Dans cette partie, nous exposons les résultats de la simulation effectuée pour étudier un system photovoltaïque autonome en utilisant le logiciel PVSYST 7.4.6.

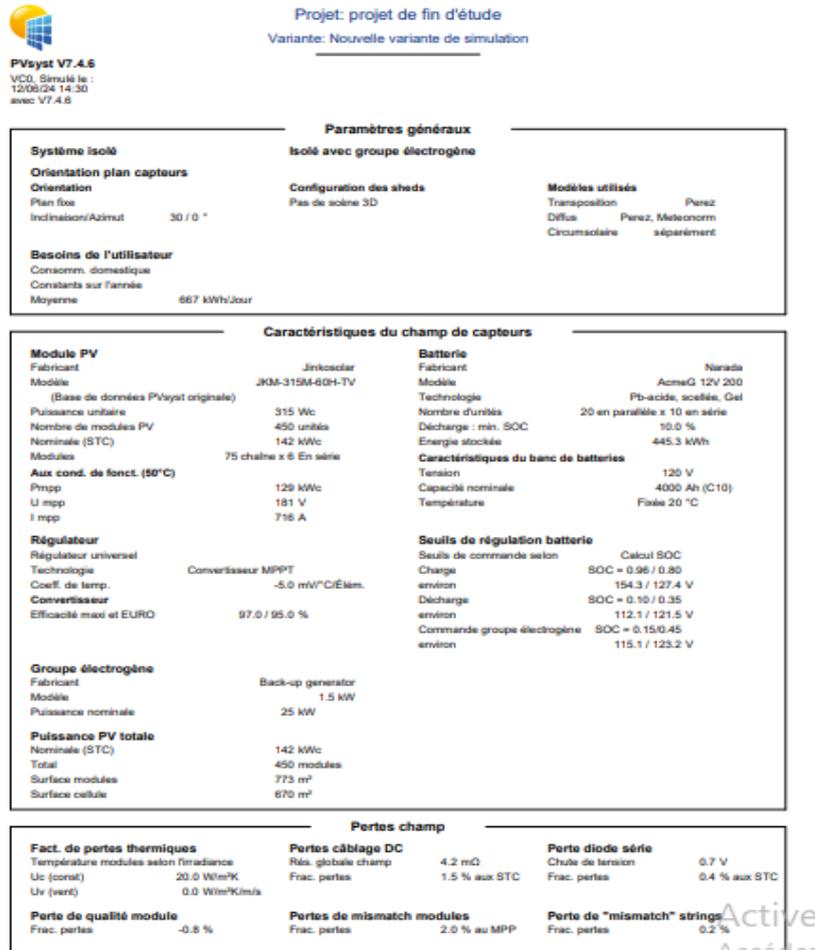


Figure. IV.10 : Paramètres de simulation de off Grid

Résultats détaillés

- Indice de performance (PR)

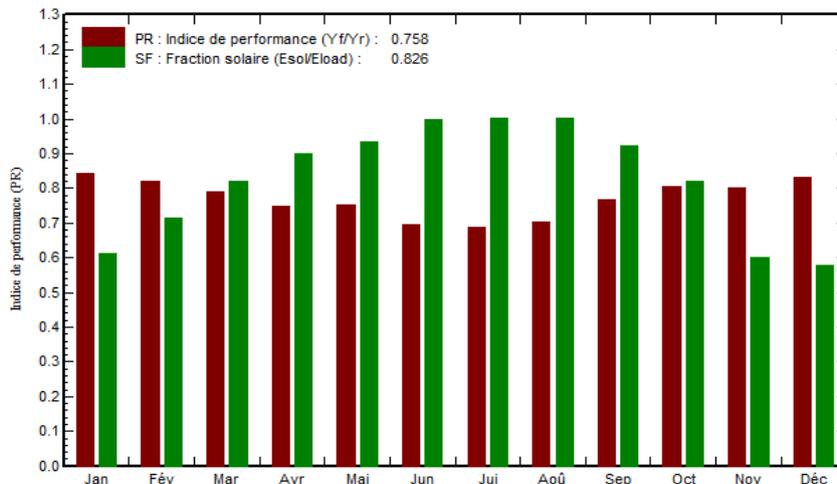


Figure. IV.11 : Graphe représente indice de performance en fonction de mois

On constate que l'indice de performance atteint ses plus hauts niveaux pendant les mois d'été, notamment en juillet et août, où il atteint 1,003. Cela indique une plus grande efficacité dans la conversion de l'énergie incidente en énergie produite par le système au cours de ces mois. Ces mois bénéficieront probablement d'un rayonnement solaire élevé et de conditions idéales pour la production d'énergie.

En revanche, l'indice de performance a été minime en décembre, tombant à 0,579. Cela correspond à une efficacité réduite pendant les mois d'hiver, qui peut être due à une disponibilité réduite de la puissance incidente, ainsi qu'à d'autres facteurs environnementaux ou opérationnels.

- Facteurs normalisés de production (par kWp m)

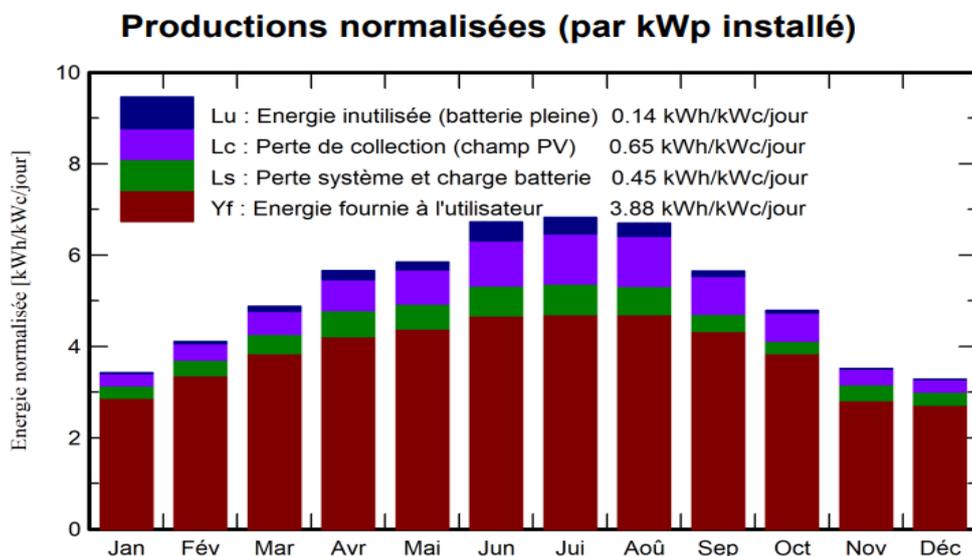


Figure.IV.12 : Graphe représente variation de l'énergie normalisé par mois

- Lorsque les batteries sont pleines, il reste de l'énergie inutilisée, surtout pendant les mois d'été (juin, juillet, août). Le rayonnement solaire atteint son maximum, ce qui entraîne une production élevée de panneaux photovoltaïques.
- La perte de collecte (Lc) représente l'énergie perdue en raison de facteurs tels que l'ombrage, la pollution La perte de charge du système et de la batterie
- (Ls) représente l'énergie perdue dans les composants du système photovoltaïque, tels que les onduleurs, les câbles et les batteries des panneaux solaires, etc.
- (Yf) Energie fournie a l'utilisateur Les valeurs basses en hiver, qui témoignent d'une faible disponibilité de l'énergie solaire, augmentent pendant l'été (juin, juillet, août), ce qui indique des conditions solaires optimales.

- Diagramme des pertes

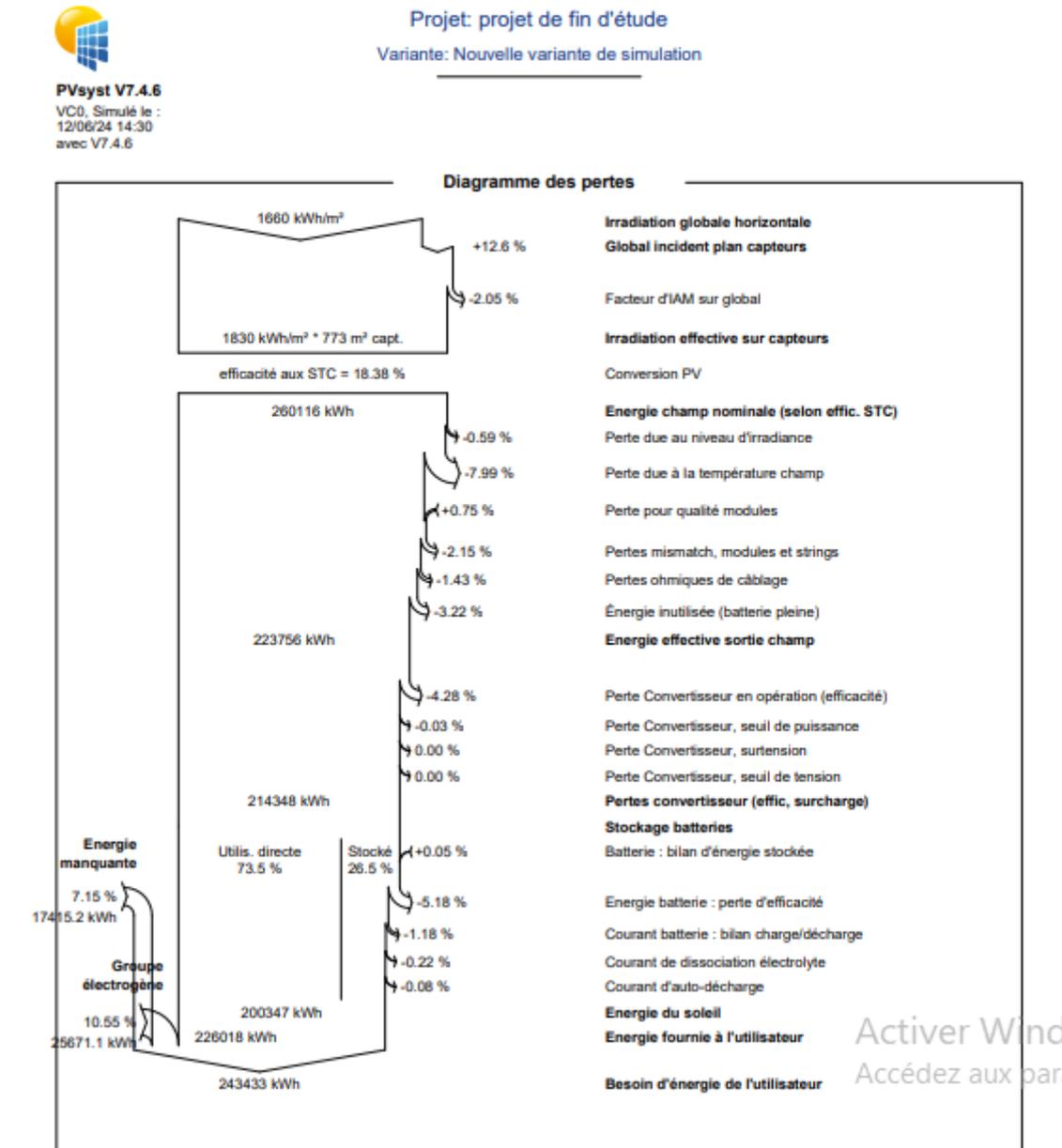


Figure.IV.13 : Diagramme des pertes sur l'année entière

Le graphique représente les pertes de production du système PV à :

Pertes ohmiques du câblage(1.43 %), effet d'incidence, pertes causées par la température du champ est prance que (8%), pertes causées par la qualité du module, etc.

En effet, l'énergie produit par le champ PV (énergie sortie du champ) estimée à 260116 (KWh) et les pertes causées par les batteries pleine (3.22%) , pour le groupe électrogène pour compléter les besoins énergétiques est (10.55)%

Énergie fournie à l'utilisateur (243433 kWh), Le total de l'énergie disponible pour l'utilisateur après toutes les pertes et ajustements.

Ce graphique montre les différentes pertes d'énergie dans un système photovoltaïque, depuis l'irradiation solaire initiale jusqu'à l'énergie fournie à l'utilisateur final.

- **Evolution économique**

Coût du système			
Coûts d'installation			
Élément	Quantité unités	Coût dz	Total dz
Modules PV			
JKM-315M-60H-TV	450	20 359.20	9 161 640.00
Supports des modules	450	5 247.55	2 361 397.50
Batteries	200	74 905.74	14 981 148.00
Régulateurs			113 770.16
Groupe électrogène			2 347 540.76
Autres composants			
Accessoires, fixation, visserie	1	50 000.00	50 000.00
Etudes et analyses			
Ingénierie	1	75 000.00	75 000.00
Installation			
Coût d'installation globale par module	450	40.00	18 000.00
Coût d'installation globale par onduleur	1	1 000.00	1 000.00
Coût d'installation globale par batterie	200	20.00	4 000.00
		Total	29 113 496.42
		Dont amortissable	29 015 496.42
Coûts d'exploitation			
Élément			Total dz/an
Entretien			
Provision remplacement batteries			998 743.20
Carburant groupe électrogène			35 608.20
Total (OPEX)			1 034 351.40
Inflation incluse (1.00 %)			1 168 535.72
Résumé du système			
Coût total d'installation	29 113 496.42 dz		
Coûts d'exploitation (inflation incl. 1.00 %/an)	1 168 535.72 dz/an		
Energie en excès (batterie pleine)	7.2 MWh/an		
Energie solaire utilisée	204 MWh/an		
Coût de l'énergie utilisée	10.8219 dz/kWh		

Tableau. IV.1 : Etude économique du système isolé

Ce tableau nous donne également des informations sur le coût total d'installation évalué à 29113496.42Dzd, le coût d'exploitation à 1168535.72DZD, et le coût de l'énergie utilisée à 10.8219DZD/KWh.

Actuellement, les modules et les batteries sont considérés comme les éléments les plus essentiels en raison de leur coût élevé, qui représente environ 70% du coût total de l'installation, et du nombre élevé de batteries utilisées dans l'installation.

IV.3.2. Simulation du system ON Grid

Choix de l'onduleur et du champ PV :

Nous avons choisi un onduleur de la marque vacon. Nous conservons la même marque précédente de panneaux.

The screenshot shows the 'Définition d'un système réseau' software interface. It is divided into several panels:

- Sous-champ:**
 - Nom et orientation du sous-champ:** Nom: Champ PV, Orient.: Plan incliné fixe, Inclinaison: 30°, Azimut: 0°.
 - Aide au dimensionnement:** Entrez Pnom désirée: 249.0 kWc, ou surface disponible(modules): 1359 m².
 - Sélection du module PV:** Jinkosolar 315 Wp 28V Si-mono JKM-315M-60H-TV, Module bifacial.
 - Sélection de l'onduleur:** Vacon 200 kW 410-800 V TL 50/60 Hz NXV0200, Nbre d'onduleurs: 1.
 - Dimensionnement du champ:** Nbre modules: 450, Surface: 773 m².
- Liste des sous-champs:**

Nom	#Mod #Ond.	#Chaîne #MPPT
Champ PV		
Jinkosolar - JKM-315M-60H-TV	15	30
Vacon - NXV0200	1	1
- Résumé système global:**

Nb. de modules	450
Surface modules	773 m²
Nbre d'onduleurs	1
Puissance PV nominale	142 kWc
Puissance AC nominale	200 kWAC
Rapport Pnom	0.709

Figure.IV.14 : Dimensionnement des modules PV et onduleurs

IV.3.2.1. Les résultats

Nous présentons, ci-après, le rapport de simulation du système connecté au réseau par PV système :

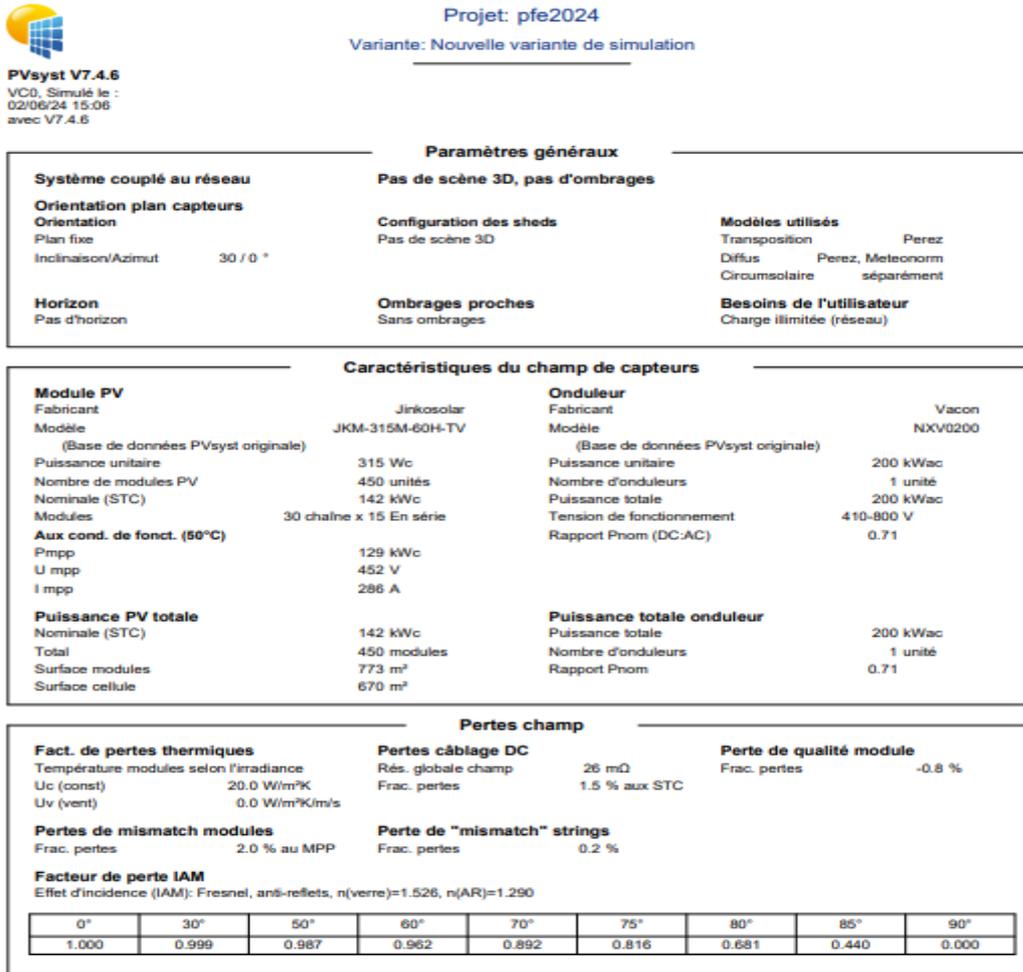


Figure.IV.15 : Paramètres de simulation système connecté au réseau

- Productions normalisées (par kWp installé)

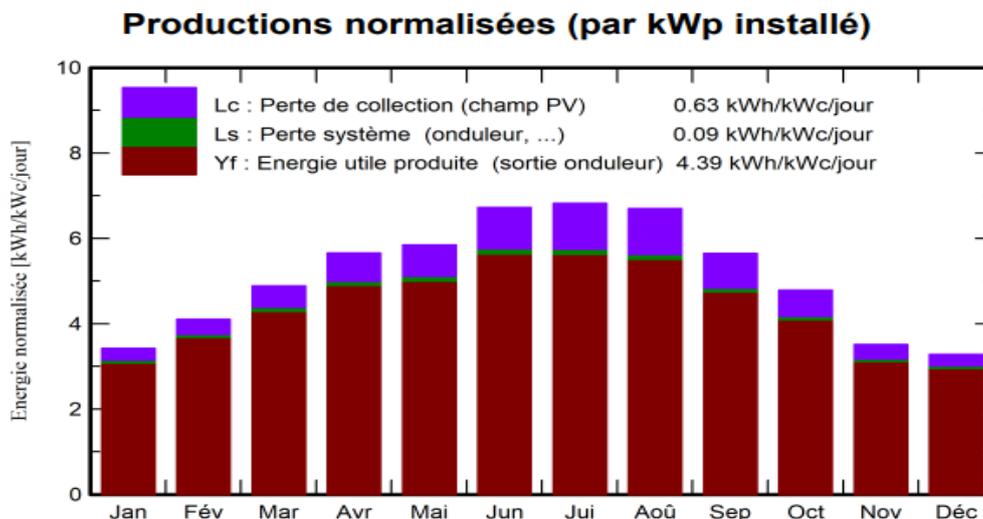


Figure.IV.16 : les productions normalisées

La figure (III.26) représente l'évolution de l'énergie utile produite par la central photovoltaïque (en sortie de l'onduleur). D'après ces résultats, on constate que cette énergie produite est plus importante pendant les mois d'été et moins importante pendant les mois d'hiver. Les pertes Lc et Ls mentionnées sont les pertes correspondantes respectivement au champ PV (panneaux solaires) et à l'onduleur.

- **Indice de performance (PR)**

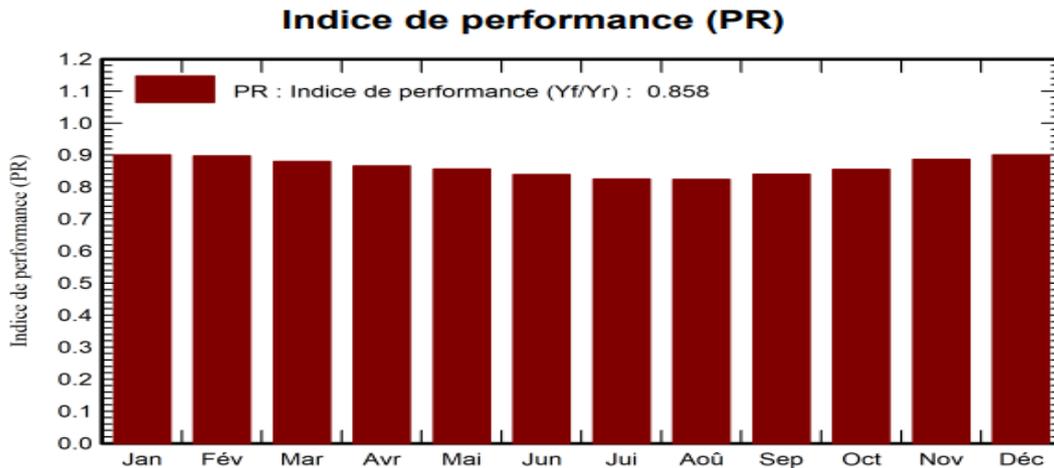


Figure.IV.17 : indice de performance de la centrale PV

Les résultats obtenus ont montré la variation du coefficient de performance en fonction des mois de l'année fournis par le programme de PV système photovoltaïque (connecté au réseau). Nous notons que ce coefficient est affecté par le degré de température, car il est élevé dans le milieu l'hiver de 90% et commence à diminuer jusqu'à atteindre 82% en été. Le pourcentage par an est de 85%.

- **Les pertes après la production**



PVsyst V7.4.6
 VCO, Simulé le :
 02/06/24 15:06
 avec V7.4.6

Projet: pfe2024

Variante: Nouvelle variante de simulation

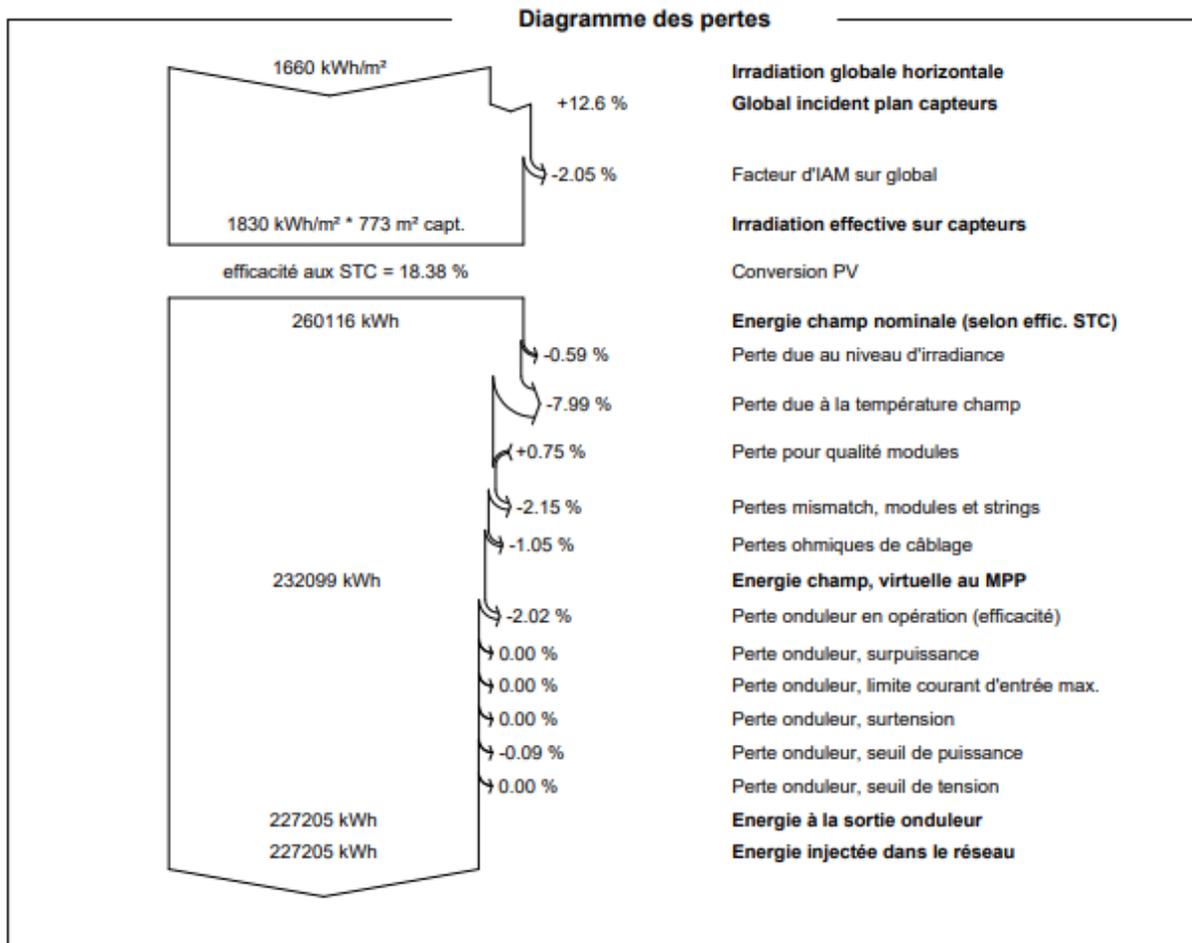


Figure.IV.18 : Diagramme des pertes sur l'année entière

Le diagramme de la figure. Résume les pertes de la production de système PV à savoir :
 Les pertes ohmiques du câblage, effet d'incidence, pertes dues a la température du champ,
 Pertes dues à la qualité des modules, etc.

- Nous constatons un pourcentage (7,99%) des pertes due à la température du champ, (plus la température ambiante est élevée, plus cette perte est importante). Ce chiffre dépend également du mode d'installation (la position la plus appropriée est celle où les panneaux sont complètement ouverts et ventilés des deux côtés).
- Perte de fonction MPP : 4,1 %, généralement due à la distance entre les panneaux.

➤ Effectivement, l'énergie générée par le champ photovoltaïque (énergie émise par le champ) est estimée à 260116KWh et réduite à 227205KWh à la sortie.

• Etude économique du système connecté au réseau

Coût du système			
Coûts d'installation			
Élément	Quantité unités	Coût dz	Total dz
Modules PV			
JKM-315M-60H-TV	450	20 359.20	9 161 640.00
Supports des modules	450	5 247.00	2 361 150.00
Onduleurs			
NXV0200	1	2 890 251.43	2 890 251.43
Autres composants			
Accessoires, fixation, visserie	1	40 000.00	40 000.00
Etudes et analyses			
Ingénierie	1	55 000.00	55 000.00
Installation			
Coût d'installation globale par module	450	40.00	18 000.00
Coût d'installation globale par onduleur	1	2 000.00	2 000.00
		Total	14 528 041.43
		Dont amortissable	14 453 041.43
Coûts d'exploitation			
Élément			Total dz/an
Entretien			
Provision remplacement onduleur			192 683.43
Nettoyage			2 000.00
Total (OPEX)			194 683.43
Résumé du système			
Coût total d'installation		14 528 041.43 dz	
Coûts d'exploitation		194 683.43 dz/an	
Energie produite		227 MWh/an	
Coût de l'énergie produite (LCOE)		3.4146 dz/kWh	

Tableau.IV.2 : Etude économique du système PV connecté au réseau

Selon le tableau précédent, on peut estimer le coût total du système photovoltaïque connecté au réseau à : 14,528,041,43 dz. En plus du coût annuel de 194683,43dz/an, le coût de production d'énergie est de 3,4146 dz/kwh. Le coût des panneaux et des transformateurs s'élève à environ le coût de l'installation.

IV.4. Comparaison des deux systèmes

	Système isolé	Système au réseaux
Nombre des panneaux	450	450
Nombre des batterie	200	/
Cout total d'installation	29113496.42DZD	14528041.43DZD
Cout total d'exploitation	1168535.72DZD /an	194683.43DZD/AN
Cout de l'énergie	10.8219DZD/KWH	3.4146DZ/KWH

Tableau.IV.3 : comparaison entre deux systèmes

D'un point de vue économique, on constate que le système le plus rentable est le système connecté au réseau, puisque son coût d'exploitation s'élève à 194.683,43 DZD annuellement. Alors que le coût total de l'installation du système sur le réseau est environ la moitié de celui d'un système isolé en raison du manque de stockage sur batterie.

IV.5. Simulation 3D de la centrale PV

Définition google SketchUp

SketchUp est un logiciel interactif de modélisation 3D à l'origine introduit en 2000 par la startup @Last Software et plus tard acquis et largement popularisé par Google en 2006. Actuellement détenu par Trimble Navigation ce dernier est disponible à la fois en version freeware : SketchUp Make pour un usage personnel, et en version payante incluant des fonctionnalités supplémentaires : SketchUp Pro. Depuis le début, son développement a principalement mis l'accent sur sa facilité d'utilisation et sa prise en main rapide.

Conçu pour être un logiciel de modélisation 3D accessible pour une large gamme d'applications telles la mécanique, l'architecture, le design intérieur et beaucoup d'autres, SketchUp constitue un choix de premier ordre pour les débutants en modélisation 3D. Il offre une interface graphique interactive avec la plupart des outils informatiques toujours visibles par défaut sur les nombreuses barres d'outils et menus [52].

Nous commençons par créer une représentation virtuelle des ateliers à l'aide des outils de modélisation de Google SketchUp. Il s'agit notamment de dessiner les contours des ateliers, des zones de stockage, des panneaux solaires, et de tous les détails existants pour que la modélisation soit proche de la réalité.

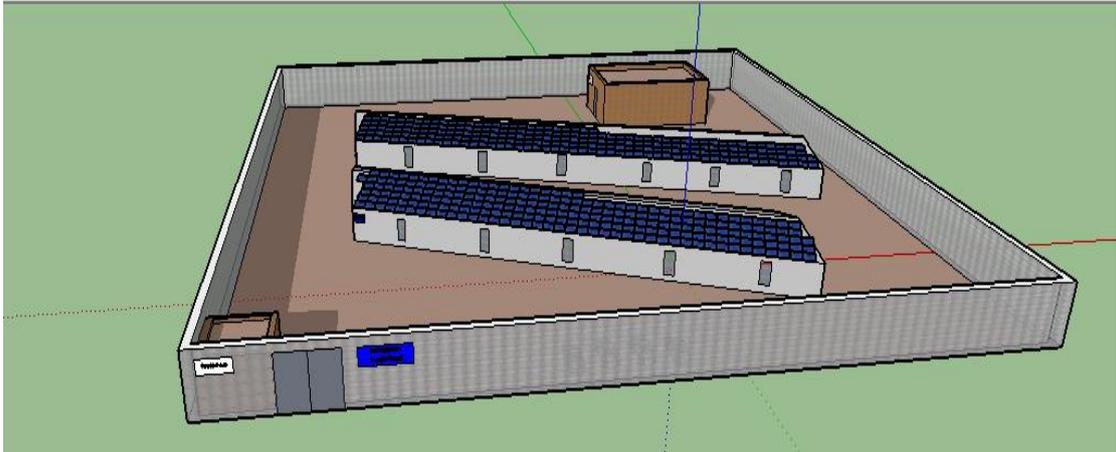


Figure.IV.19 : Simulation 3D de la centrale photovoltaïque 1

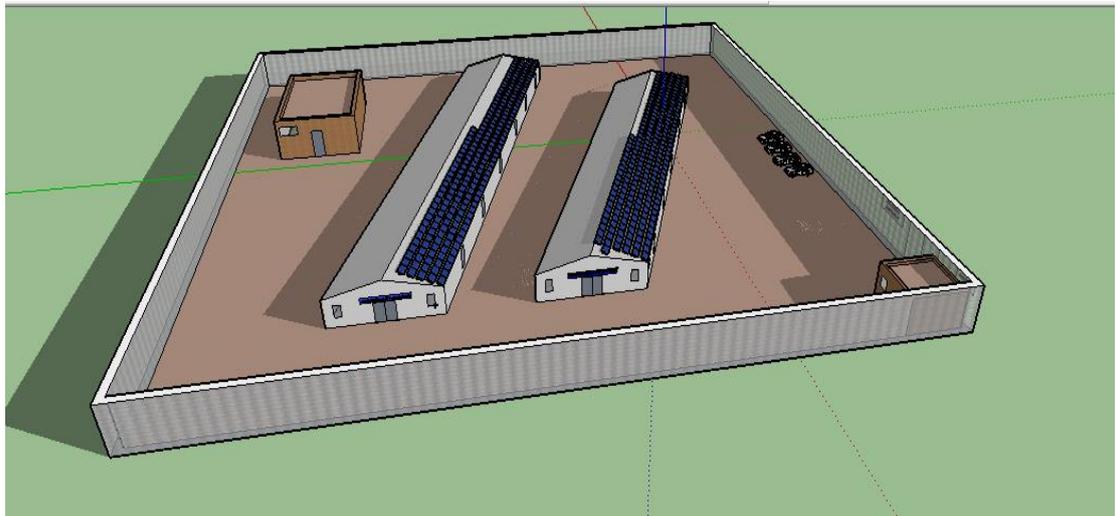


Figure.IV.20 : Simulation 3D de la centrale photovoltaïque 2



Figure.IV.21 : Simulation 3D de la centrale photovoltaïque 3



Figure.IV.22 : Simulation 3D de la centrale photovoltaïque 4

IV.6. Conclusion

Dans ce chapitre, après avoir simulé et étudié la station photovoltaïque connectée au réseau électrique et isolée par la batterie, nous affichons les résultats de simulation pour les deux systèmes, ainsi que tous les graphiques et tableaux. Afin de réaliser une évaluation technique de l'impact économique et énergétique.

Conclusion Général

Conclusion Générale

Ce projet concerne l'intégration des énergies renouvelables dans l'atelier de mécanique. Nous avons choisi d'utiliser des panneaux photovoltaïques pour alimenter les machines de l'atelier de mécanique (EX INGM) situé dans la région de Boumerdès.

Adopter l'énergie solaire photovoltaïque est signe d'amélioration du service, d'économie d'énergie et de créativité. L'objectif de notre étude est de développer une étude technique et économique de la préfaisabilité de l'installation d'une centrale photovoltaïque (PV) sur les toitures des ateliers mécaniques, et de l'intégration de l'énergie solaire PV pour alimenter des machines. La consommation d'énergie dans les ateliers mécaniques est souvent élevée, et l'utilisation de l'énergie solaire peut réduire la dépendance au réseau électrique traditionnel, Pour proposer la solution optimale entre les deux systèmes, notre travail a été le suivant :

Au début, nous avons présenté de manière générale tous les types d'énergies renouvelables et fossiles, et nous avons également évoqué certains types de stockage utilisés dans ce domaine.

Le dimensionnement de la centrale photovoltaïque a été confié au chapitre 3, en fonction des besoins énergétiques de l'atelier. Pour atteindre notre objectif, nous avons présenté deux propositions qui nous permettront de trouver la meilleure solution qui s'adapte aux besoins spécifiques des ateliers. Ces solutions seront comparées dans le chapitre 4.

Finalement, une analyse de simulation a été effectuée en utilisant le logiciel PVSYSSTM pour deux installations solaires (isolé et connectées au réseau). Une analyse économique a été effectuée pour les deux systèmes. Pour les ateliers mécaniques (EX INGM), nous avons déterminé que le système idéal pour la toiture est le système connecté au réseau, car il n'est pas nécessaire d'avoir des batteries et un générateur. De plus, le coût total d'installation (14.528.041,43 DZD) est environ la moitié par rapport au système raccordé au réseau.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] <https://selectra.info/energie/guides/comprendre/energies-fossiles>.
- [2] Gasmi Nesrine, « Les ressources en énergies renouvelable », mémoire de master de l'université Mohamed El Bachir Elibrahimi –Bordj Bou Arreridj Faculté des Sciences et de la Technologie ,2021.
- [3] B. Soltane, « Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables », Thèse de Doctorat de L'université de Constantine, Juin 2010.
- [4] <https://lenergie-solaire.net/qu-est-ce-que-energie-solaire/histoire>.
- [5] AZIZI AMINA, « Modélisation optimisation d'un système de production d'énergie Photovoltaïque avec un système de stockage hybride ». Thèse de Doctorat de Université BADJI MOKHTAR –ANNABA ,2019.
- [6] <https://photovoltaique-energie.fr/l-effet-photovoltaique.html> .
- [7] S. Hamza, Cours « Energies Renouvelables, 2017 ».
- [8] Z. Nourredine, « Étude et Dimensionnement des Systèmes de Production d'Energies Renouvelables », Thèse de Magister, Université Ferhat Abbas de Setif1 ,2014.
- [9] durable.gouv.fr/IMG/pdf/13_06_guide_ademe_energie_eolienne_cle5c6de8.pdf.
- [10] <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/biomasse> .
- [11] <https://www.quiestvert.fr/contenus/electricite-verte/tout-ce-que-vous-devez-savoir-sur-la-biomasse/#:~:text=La%20biomasse%20peut%20se%20vanter,ou%20pour%20cuire%20leurs%20aliments>.
- [12] <https://youmatter.world/fr/definitions/energies-fossiles-definition-exemples-histoire-reserves/>.
- [13] C. Aliane, A. Zerioul, « Etude d'un groupe électrogène par simulation numérique », Mémoire de Master Professionnelle Université MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU ,2016.
- [14] <https://mypower.engie.fr/conseils/panneaux-solaires/produits-associes/groupe-electrogene-solaire-fonctionnement-criteres-de-choix.html>.

Bibliographie

- [15] https://www.fgwilson.com/fr_FR/company/history.html#:~:text=C'est%20en%201966%2C%20%C3%A0,groupes%20%C3%A9lectrog%C3%A8nes%20install%C3%A9s%20depuis%201990.
- [16] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/micro-turbine> .
- [17] [https://fr.obtmetalwork.com/turbine-and-turbine-blade/nickel-alloy-turbine/micro-gas-turbine.html.](https://fr.obtmetalwork.com/turbine-and-turbine-blade/nickel-alloy-turbine/micro-gas-turbine.html)
- [18] <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/21/8084>
- [19] TURBINE An overview on the performance investigation and improvement of micro gas turbine engine F Opponga*, S.J van der Spuy a, T.W. von Backström a, A.Lacina Diaby Received 6 January 2015, in revised form 25 April 2015 and accepted 18 June 2011
- [20] <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/stockage-de-lenergie>
- [21] <https://lenergie-solaire.net/energie-solaire-photovoltaique/elements/batteries-solaires>
- [22] <http://blog.seatronic.fr/fiches-pratiques/energie/stockage/batteries-marines/theorie/>
- [23] AYED MERDACI YASMINA, « Contrôle sans fil au protocole DASH7 de la charge par induction d'une batterie Lithium-Ion », mémoire de master, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA,2016.
- [24] <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/caes-stockage-par-air-comprime#:~:text=Futur-,D%C3%A9finition,sur%20des%20turbines%20%C3%A0%20gaz>
- [25] BEDIAR Samira, « Contribution à l'étude de l'impact de l'intégration des énergies renouvelables dans les réseaux électriques intelligents », Thèse de Doctorat de L'université Africaine Ahmed Draïa Adrar ,2022.
- [26] <https://www.terega.fr/nos-activites/hydrogene/le-stockage-dhydrogene-un-enjeu-pour-le-developpement-de-la-filiere/>
- [27] A. Bouziane, K Hammad, A. Tababna, « Modélisation et commande D'un système De Pompage photovoltaïque », mémoire de master, centre Universitaire de NAAMA, 2022.
- [28] A. CHERGUI, N. TALBI, « Intégration de l'énergie solaire dans la gestion énergétique optimisée pour un bâtiment », mémoire de master, Université A. MIRA-BEJAIA, 2020 .

Bibliographie

- [29] M. Chaabene, « Gestion énergétique des panneaux photovoltaïques », mémoire de magister, université de Sfax, 2008.
- [30] <http://blogmatlab.blogspot.com/2010/06/un-systeme-solaire-hybride.html>
- [31] <https://www.electricaltechnology.org/2021/07/solar-power-plant.html>.
- [32] <https://www.photovoltaique.info/fr/realiser-une-installation/choix-du-materiel/les-onduleurs-photovoltaique/>
- [33] <https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/maison-poste-transformation-10862/>
- [34] <https://www.interieur.gov.dz/images/Projets-raliss-dans-le-cadre-du-programme-national-des-nergies-renouvelables-.pdf>
- [35] <https://www.jne-asso.org/2023/11/28/transition-energetique-en-algerie-2024-annee-des-energies-renouvelables/>
- [36] C. HENNOUS, K.AIT ALLALA, « Dimensionnement et installation d'un système photovoltaïque (Application a la F.G.E.I.) » mémoire de master, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou ,2009.
- [37] A. ADAINE, « Optimisation numérique de cellules solaires à très haut rendement à base d'InGaN », thèse de doctorant, Université de Lorraine et CentraleSupélec, 2018.
- [38] <http://www.planete-solar.fr/project/les-differents-types-de-cellules-photovoltaiques/>
- [39] <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/energie-renouvelable-record-rendement-cellules-photovoltaiques-organiques-80308/>
- [40] <https://www.cozyenergy.com/conseils-subventions/dernieres-technologies-panneaux-solaires#:~:text=Les%20panneaux%20solaires%20organiques,place%20du%20silicium%20cristallin%20traditionnel.>
- [41] <https://www.dsnsolar.com/info/half-cut-technology-for-solar-panel-design-and-35172079.html>
- [42] <https://www.monkitsolaire.fr/blog/panneau-solaire-bifacial-n343>
- [43] <https://www.eco-greenenergy.com/fr/bifacial-vs-monofacial-modules-what-to-choose-for-your-project/>

Bibliographie

- [44] <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>
- [45] <https://www.mathworks.com/help/sps/ref/solarcell.html>
- [46] M. HARAOUBIA « Etude simulation d'un générateur de panneau Photovoltaïque », mémoire de master, université BADJI MOKHTAR ANNABA, 2019.
- [47] <https://www.commerce-machines-occasion.fr/fonctionnement-differents-types-de-fraiseuses/>
- [48] Cours 2 pour 1ère année PMI FAB 1, Dr Layachi,
<https://fac.umc.edu.dz/ista/pdf/cours/Cours%20%20pour%201%C3%A8re%20ann%C3%A9e%20PMI%20FAB%201.pdf>
- [49] K. AMOKRANE, « Etude et Performances des systèmes de pompage photovoltaïque Destinés pour l'alimentation en eau potable », Mémoire Magister, Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2008.
- [50] <https://mypower.engie.fr/conseils/energie-solaire/avantages-conseils-solaire/ombre-sur-les-panneaux-solaires-impact-solutions-possibles.html#:~:text=La%20premi%C3%A8re%20solution%20consiste%20%C3%A0,utilisable%20pour%20vos%20appareils%20%C3%A9lectriques.>
- [51] <https://www.pvsyst.com/fr/>
- [52] <https://www.sculpteo.com/fr/glossaire/sketchup-definition-fr/>