

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Université Badji Mokhtar – Annaba
Badji Mokhtar – UNIVERSITY Annaba



جامعة بادجي مختار - عنابة

Faculté : Technologie

Département : électrotechnique

Domaine : Sciences et technologie

Filière : électrotechnique

Spécialité : électrotechnique industrielle

Mémoire :

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème :

Conception d'une centrale photovoltaïque en milieu isolé

Présenté par :

- DEHIMI Narimane
- BOUBIR Alla Eddine

Encadrant :

- ABEDERREZEK Abdallah

Pr

Université UBMA

Jury de Soutenance :

TOURAB Wafa	M.C.B	UBMA	Présidente
ABEDERREZEK Abdallah	Pr	UBMA	Encadrant
DAFRI Mourad	M.A.B	UBMA	Examineur

Année Universitaire : 2023/2024

Remercîment

Nous offrons notre grande gratitude à Dieu qui nous a aidés à mener à bien ce travail. Nous exprimons notre profonde gratitude à nos parents pour leurs encouragements, leur soutien et les sacrifices qu'ils ont endurés.

*Nous remercions notre promoteur, Mr. ABDERREZAK
Abdallah ,*

*Pour les efforts qu'il a déployés pour nous aider, conseiller, encourager et
corriger.*

*Nous tenons à remercier les membres du jury d'avoir accepté d'étudier notre
travail.*

*Nous remercions également tous les membres du corps professoral du
Département de génie électrique qui ont contribué à notre formation
universitaire.*

*Enfin, nous remercions tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la
réalisation de ce travail. Retrouvez ici notre sincère gratitude.*

Dédicace

Nous dédions cet humble travail à nos parents, à la source de notre générosité et de notre patience tout au long de notre parcours scolaire. Dieu vous protège et vous donne la santé, le bien-être et la longévité.

À nos frères, sœurs et leurs petites familles, qui nous indiquaient toujours le bon chemin et qui ont pu nous aider.

Aux personnes qui nous ont accompagnés pendant nos études universitaires, et à nos amis pour leurs encouragements et leur soutien constants.

Table des matières

Remercîment	
Dédicace	
Introduction Générale.....	1
Chapitre 1 Généralités sur L'énergie photovoltaïque	3
1. Introduction	4
2. L'énergie solaire.....	4
2.1 Le gisement solaire	5
2.2 Le rayonnement solaire.....	5
2.3 Les différents types de rayonnement solaire	6
2.4 Masse d'air	7
2.5 Les coordonnées terrestres.....	7
3. L'énergie photovoltaïque	8
3.1 L'effet photovoltaïque	8
4. La cellule photovoltaïque (photopile)	9
4.1 Les différents types de cellules solaires photovoltaïques.....	11
5. Modélisation du système photovoltaïque	12
5.1 Modèle à une diode : [6]	12
5.2 Modèle à deux diodes.....	13
6. Conclusion	14
Chapitre 2 Composants du système photovoltaïque	15
1. Introduction	16
2. Le module photovoltaïque.....	16
2.1 La constitution d'un module photovoltaïque.....	16
2.2 Des cellules au module PV	17
2.3 Caractéristique courant-tension d'un module PV	21
2.4 Présentation d'une Fiche technique	22
3. L'onduleur.....	23
3.1 Rôle de l'onduleur	23

3.2	Dimensionnement de l'onduleur	23
3.3	Performance de l'onduleur	24
4.	Le régulateur.....	25
4.1	Définition d'un régulateur	25
4.2	Rôles de la régulation	25
4.2.1	Types de régulateurs.....	25
4.2.2	Rendements des régulateurs	25
5.	Le système de stockage (Les batteries)	26
5.1	Définition	26
5.2	Composition des batteries	26
5.3	Principales caractéristiques des batteries.....	27
5.4	Différentes technologies de batteries.....	28
5.4.1	La batterie Nickel-Cadmium (Ni-Cd).....	28
5.4.2	La batterie Nikel-Métal-Hydrure (Ni-MH).....	28
5.4.3	La batterie lithium-ion (Li-Ion).....	28
5.4.4	La batterie à l'Acide-Plomb.....	28
5.5	Propriétés électrochimiques de la batterie Acide-Plomb	31
6.	Conclusion	32
<i>Chapitre 3 Méthodologie du dimensionnement d'une installation PV</i>		<i>33</i>
1.	Introduction	34
2.	Procédure de calcul	34
2.1	Etape I : Consommation énergétique	34
2.2	Etape II : Energie solaire récupérable.....	35
2.3	Etape III : Données météorologiques	37
2.4	Etape IV : Dimensionnement du générateur photovoltaïque	38
2.4.1	Puissance crête d'un générateur photovoltaïque	38
2.4.2	Tension de fonctionnement du champ photovoltaïque.....	38
2.5	Etape V : Nombre de panneaux photovoltaïques à utiliser	39
2.5.1	Calcul de la taille de la surface photovoltaïque.....	39
2.6	Etape VI : Dimensionnement du parc de batteries.....	40
2.7	Etape VII : Dimensionnement du régulateur de charge	41
2.8	Etape VIII : Dimensionnement de l'onduleur.....	42
2.9	Etape IX : Le dimensionnement des câbles électriques solaires.....	43

3.	Application	44
3.1	Consommation énergétique (étape I).....	44
3.2	Localisation du site (étape II)	45
3.3	Données météorologiques (étape III)	46
3.4	Dimensionnement du générateur photovoltaïque (étapes IV)	46
3.5	Calcul du nombre de panneaux à utiliser pour l'installation (étape IIV)	48
3.5.1	Calcul de la taille de la surface photovoltaïque.....	49
3.6	Dimensionnement du système de stockage (étape VI).....	49
3.7	Choix de l'onduleur Hybride / off grid (étape VII)	51
3.8	Choix des câbles (étape VIII).....	52
4.	Conclusion	54
<i>Chapitre 4 Simulation du système PV installé et résultats obtenue avec logiciel PVsyst</i>		55
1.	Introduction	56
2.	Les étapes de dimensionnement avec logiciel PVSYST	56
2.1	Etape 1 : Désignation du projet.....	56
2.2	Etape 2 : Détermination des besoins électriques.....	57
2.3	Etape 3 : Distribution horaire de la charge.....	58
2.4	Etape 4 : Dimensionnement du parc de batteries	59
2.5	Etape 5 : Dimensionnement du champ PV.....	60
2.6	Etape 6 : Dimensionnement du convertisseur	61
2.7	Etape 7 : Orientation des panneaux.....	62
2.8	Etape 8 : Rapport de La simulation.....	62
3.	Conclusion	68
<i>Conclusion Générale</i>		69
<i>Références Bibliographique</i>		70
<i>ANNEXE</i>		72
<i>Liste Des Tableaux</i>		V
<i>Liste Des Figures</i>		VI
<i>Liste Des Abréviations</i>		VIII

Introduction Générale

Introduction Générale

La croissance de la population et l'industrialisation croissante sont les premiers facteurs pour lesquels la consommation de l'énergie électrique augmente régulièrement. Ainsi, pour faire face à cette croissance et son impact sur l'environnement, il est devenu nécessaire de s'orienter sur les énergies renouvelables pour réduire la dégradation des zones de production de l'énergie électrique classique et favoriser les autres sources d'énergies renouvelables pour faire face à la demande tout en préservant la nature.

La disponibilité de l'énergie solaire sur pratiquement toute la longueur d'année fait que notre pays dispose du plus grand gisement solaire au monde. La technologie de l'équipement des installations solaires progresse à grands pas et les prix deviennent de plus en plus raisonnables pour produire à grande échelle de l'énergie électrique à base du photovoltaïque.

Notre pays s'est engagé dans la construction de plusieurs centrales solaires réparties sur tout le territoire dans le but de faire face à la demande sans cesse croissante en énergie électrique mais surtout pour réduire la part de la production énergétique fossile et de s'orienter vers les énergies renouvelables en particulier le solaire sous toutes ses formes.

D'autre part, la gestion des réseaux classiques est devenue complexe et difficile à contrôler. Cette situation nécessite des dispositifs de contrôle sophistiqués qui nécessitent de la microélectronique, des ordinateurs et des moyens de télécommunication rapides avec pour conséquence l'augmentation des charges sur le prix de revient de l'énergie électrique.

L'ensemble des raisons citées auparavant font que l'avenir pour notre pays doit être celui du renouvelable et c'est dans cette idée que nous avons choisi de traiter le sujet relatif à la conception des systèmes photovoltaïques basiques pour alimenter en énergie électrique les sites isolés du réseau national. Cette contribution permet de procéder au calcul et au dimensionnement des installations solaires pour constituer un réseau autonome avec les dispositifs de contrôles commande très efficaces.

Il faut noter que le développement rapide de l'électronique de puissance a un effet considérable dans l'amélioration des conditions de fonctionnement des systèmes photovoltaïques en assurant un contrôle rigoureux des paramètres par l'introduction de dispositifs de contrôle à base des composants d'électronique de puissance très avancés.

L'objectif de ce modeste travail est d'étudier le fonctionnement et le dimensionnement des systèmes PV. Assurer une bonne conduite de projet de réalisation des installations solaires en milieux isolés tel que les sites dans le grand sud d'Algérie ou en Afrique pour favoriser l'émergence de nouvelles générations d'ingénieurs capables de prendre en main le

développement de leurs pays en énergie solaire pour préserver la nature tout en améliorant le niveau de vie des populations. Ce travail est organisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre consacré aux généralités sur les énergies renouvelables et en particulier le solaire. La transformation des rayons solaires en énergie électriques ne date pas d'aujourd'hui mais avec les effets de serre et la pollution grandissante, le photovoltaïque a pris un essor remarquable. L'amélioration des rendements et l'intégration de l'électronique de puissance ont généralisés l'utilisation du photovoltaïque qui de nos jours fait partie intégrante du système énergétique national.

Le deuxième chapitre est consacré à l'équipement des systèmes photovoltaïques en particulier la succession des opérations techniques relatives à la connexion et au raccordement des différentes installations pour réaliser la chaîne de montage tout en présentant les caractéristiques électriques des différentes composantes du système.

Le dimensionnement du dispositif du système photovoltaïque a fait l'objet du troisième chapitre. La stratégie utilisée consiste à élaborer les étapes de simulation, de calcul et de vérification des différents paramètres constituant le système étudié. Le choix du système de stockage avec l'ensemble des types de batteries utilisées par les spécialistes des installations photovoltaïque.

Afin de valider la méthodologie élaborée pour le dimensionnement d'un système photovoltaïque nous avons opté pour la réalisation d'un système autonome pour une habitation isolée du réseau national. Cette phase permet le calcul de chaque composant du système et les liaisons correspondantes pour en faire un système fonctionnel et sûr de fonctionner sans défaut tout en étant isolé de toutes liaisons extérieures. Cette modeste réalisation a été significative nous l'apprentissage des techniques de réalisation et de fonctionnement des systèmes électriques d'une manière générale.

En résumé, le chapitre quatrième présente les simulations effectuées par le PVsyst pour valider l'ensemble des calculs effectués pour dimensionner le système PV réalisé dans l'exemple donné dans le chapitre 3. Les résultats obtenus sont en parfaite confirmation avec les normes de dimensionnement des systèmes photovoltaïques. Pour conclure nous pouvons affirmer que l'avenir de l'énergie solaire est très prometteur pour notre pays pour des raisons de protection de l'environnement et de l'avancée technologiques dans le domaine de l'électronique de puissance et l'informatique qui permettent une amélioration considérable des rendements et par conséquent la généralisation du photovoltaïque.

Ce travail ne se résume pas à une simple présentation de concepts théoriques, mais cherche à proposer des solutions concrètes et opérationnelles afin de favoriser l'utilisation de l'énergie solaire comme une alternative écologique et durable aux énergies traditionnelles. Nous souhaitons que les résultats de cette étude favorisent la croissance durable et offrent des sources d'énergie alternatives qui répondent aux besoins des générations actuelles et futures sans nuire à l'environnement.[1]

Chapitre 1

Généralités sur L'énergie photovoltaïque

1. Généralités sur L'énergie photovoltaïque

1. Introduction :

L'énergie solaire est une ressource inépuisable et écologiquement durable qui joue un rôle important dans la recherche mondiale de sources d'énergie renouvelables. Le système photovoltaïque, qui combine les idées du rayonnement solaire et de la conversion photovoltaïque, est principalement utilisé pour exploiter ce potentiel énergétique. Le but de ce travail est de contribuer à la conception des systèmes photovoltaïques pour une généralisation future du solaire en vue de le substituer aux énergies conventionnelles. Les divers éléments qui composent les systèmes feront l'objet de notre travail avec les ensembles des procédures impliqués dans la conception et le fonctionnement des systèmes photovoltaïques.

Il est crucial de comprendre en profondeur la nature du rayonnement solaire, ses différents types et son interaction avec l'atmosphère terrestre, y compris la masse d'air et les coordonnées géographiques, du milieu. De plus, un prérequis essentiel à la compréhension du fonctionnement des systèmes photovoltaïques est une étude approfondie de l'énergie photovoltaïque, mettant en lumière l'effet photovoltaïque et la structure des cellules photovoltaïques.

Un autre aspect du travail consiste à la modélisation des générateurs photovoltaïques et des cellules photovoltaïques, permettant d'analyser les paramètres et les caractéristiques électriques influençant les performances des systèmes photovoltaïques dans des conditions d'éclairement et de température variable.[3]

2. L'énergie solaire :

En tant qu'étoile, le soleil a un diamètre d'environ 1392684 km, soit 110 fois plus grand que celui de la Terre. Il est composé de 70% d'hydrogène, 28 % d'hélium et 2 % d'atomes lourds. Il est une source d'énergie non toxique, naturelle, renouvelable, inépuisable et gratuite.

L'énergie solaire est un terme utilisé pour décrire la quantité d'énergie produite par le soleil sous forme de rayonnement électromagnétique avec un spectre allant de 0.2µm (ultraviolet) à 4 µm (infrarouge).

Bien que la distance entre la terre et le soleil soit estimée à 150 millions de km, la direction Terre-Soleil est le rayonnement (irradiation) émis par le soleil dans toutes les directions de la terre.[2]

2.1 Le gisement solaire :

Le gisement solaire est un ensemble de données qui décrit comment le rayonnement solaire disponible a changé au cours d'une période donnée. La familiarité avec le gisement solaire d'une zone : [4]

- Les coordonnées géographiques du site sont les suivantes :
- Selon la quantité d'années de mesures à disposition ;
- Selon les saisons (mois, jour, heure) ;
- Selon les conditions météorologiques (poussière, humidité...) ;
- Selon la nature du nombre d'heures d'ensoleillement, composante directe et diffuse et globale du rayonnement solaire, albédo du sol.

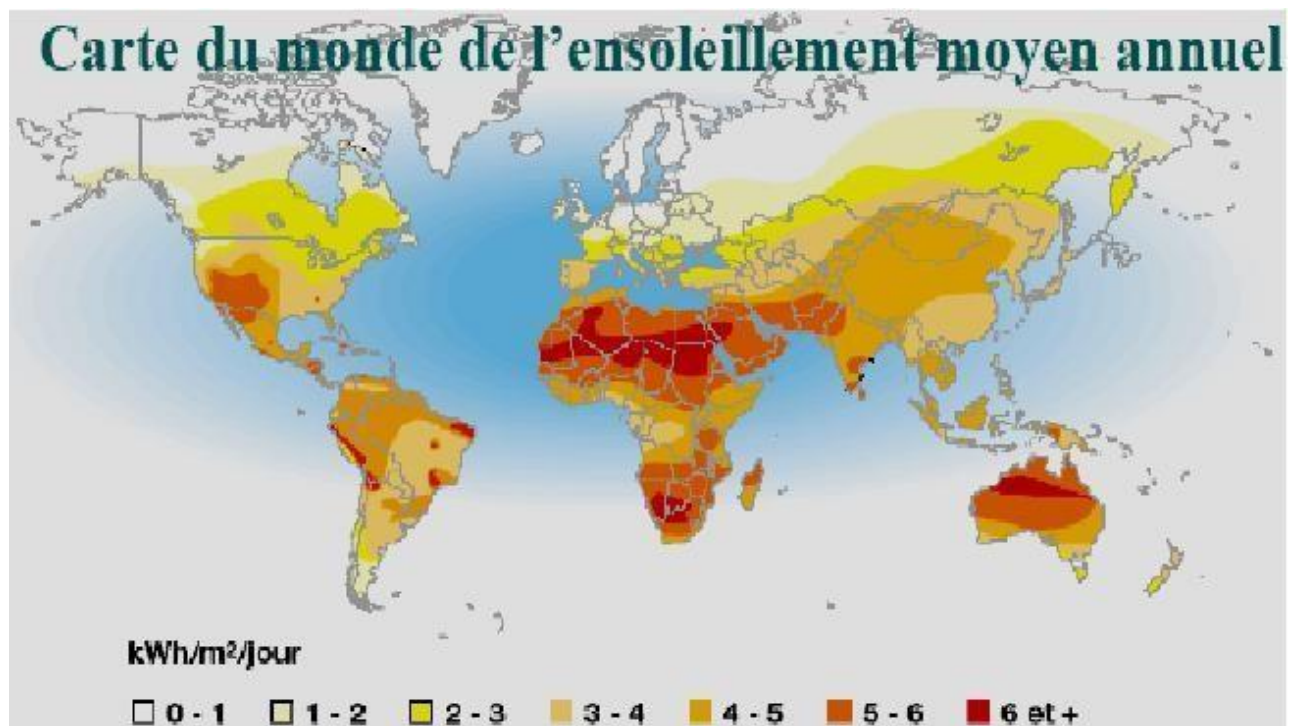


Figure 1: Carte du monde d'ensoleillement moyen annuel

2.2 Le rayonnement solaire :

Quel que soit la distance considérable qui sépare le soleil de la terre 150. 106Km, la couche

terrestre reçoit une quantité d'énergie importante 180. 106GW [4].

Le rayonnement solaire se décompose approximativement comme suit :

- 5% dans la bande des ultraviolets ($< 0.4\mu\text{m}$) ;
- 40% dans la bande visibles ($0.4 \text{ à } 0.8 \mu\text{m}$) ;
- 55% dans la bande des infrarouges ($> 0.8\mu\text{m}$).

2.3 Les différents types de rayonnement solaire

Il y a quatre types de rayonnement solaire ;[5]

- **Le rayonnement solaire direct :**

Il s'agit du rayonnement provenant directement du soleil. Un pyrhéliomètre est utilisé pour mesurer sa longueur.

- **Le rayonnement solaire diffus :**

Rayonnement provenant de tous les cieux. Ce rayonnement est composé de l'absorption, de la diffusion par l'atmosphère et de la réflexion dans les nuages. Un pyromètre avec un écran qui cache le soleil peut être utilisé pour mesurer cela.

- **Le rayonnement solaire réfléchi (albédo du sol) :**

Le rayonnement réfléchi par le sol ou des objets à sa surface est un obstacle. Lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige), cet albédo peut être crucial.

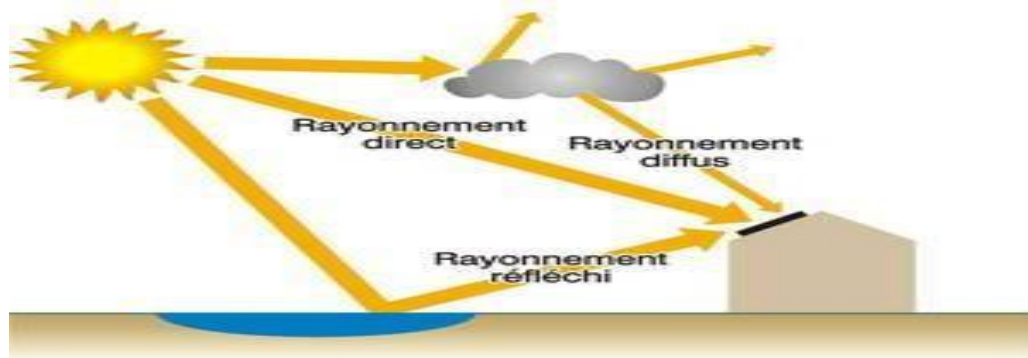
- **Le rayonnement solaire global :**

Ainsi, la composition et l'épaisseur du sol influencent le rayonnement global du sol. Les rayons lumineux traversent l'atmosphère tout au long de la journée.

Les générateurs solaires utilisent à la fois le rayonnement direct et le rayonnement diffus.

La surface est constituée de la somme de tous les rayonnements reçus, y compris le rayonnement réfléchi par le sol et les objets à proximité. Il peut être mesuré à l'aide d'un pyromètre ou d'un polarimètre.

Figure 2: Les composantes du rayonnement solaire



2.4 Masse d'air :

Rapport entre l'épaisseur d'atmosphère traversée par le rayonnement solaire direct pour atteindre le sol et l'épaisseur d'atmosphère traversée par la verticale du lieu est appelé masse d'air. Cela dépend de la hauteur angulaire du soleil (h). A l'aide des points O, A et M, on écrit la longueur du trajet du soleil à travers l'atmosphère comme : $OM-OA/\sin h$. (voir λ fig. (1.3)).[4]

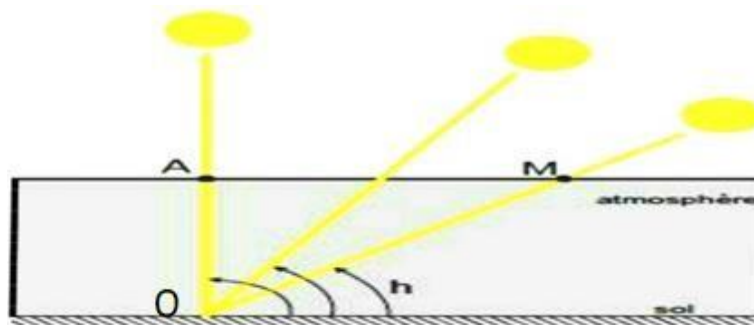


Figure 3: Rayonnement solaire et la masse d'air

2.5 Les coordonnées terrestres :

Les coordonnées géographiques de chaque endroit de la surface terrestre incluent la longitude, l'altitude et la latitude.

- La longitude (λ) est l'angle formé par deux plans méridiens, l'un traversant le méridien de Greenwich (0°) et l'autre traversant l'emplacement en question.
- La distance verticale en mètres entre un point et le niveau moyen de la mer, qui sert de surface de référence théorique, est connue sous le nom d'altitude.
- La latitude (Φ) est l'angle entre le plan de l'équateur et une ligne tracée d'un point sur la surface terrestre jusqu'au centre de la Terre. Elle oscille entre -90 et 90 degrés.[5]

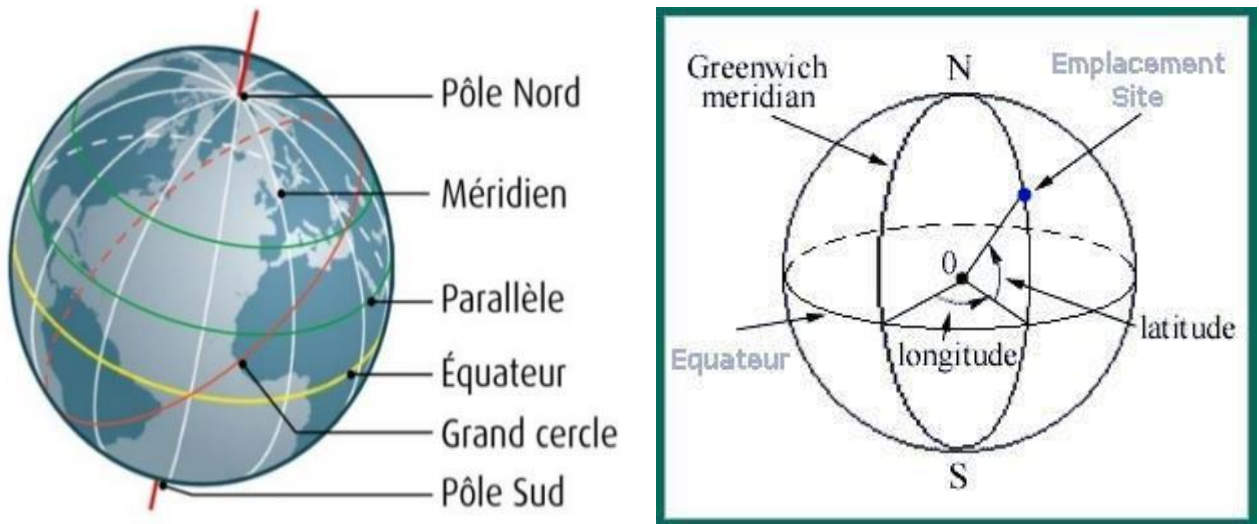


Figure 4: Les coordonnées Terrestre's

3. L'énergie photovoltaïque :

Le mot « photovoltaïque » provient du Grec et signifie « lumière », il est composé de deux parties : « photos » (lumière) et du nom de famille de Alessandro Volta, un physicien italien qui inventa la pile électrique en 1800 et a donné son nom à l'unité de mesure de la tension électrique, le volt.

Le rayonnement solaire lumineux (éclairage) est transformé directement en électricité par l'énergie solaire photovoltaïque. Elle utilise des semi-conducteurs, c'est-à-dire. Les cellules solaires sont utilisées dans les modules photovoltaïques pour produire cette énergie.

L'impact du photovoltaïque.

L'effet photovoltaïque consiste à convertir directement l'énergie lumineuse (rayonnement solaire) du soleil en énergie électrique.[5]

3.1 L'effet photovoltaïque :

Est le processus physique fondamental par lequel une cellule solaire transforme l'ensoleillement en électricité et utilise l'ensoleillement pour produire du courant électrique dans un matériau solide semi-conducteur.

Le silicium, le germanium et le gallium sont parmi les composants semi-conducteurs les plus couramment employés. Edmond Becquerel, un physicien français, a découvert cet effet en 1839 après avoir effectué plusieurs essais.[3]

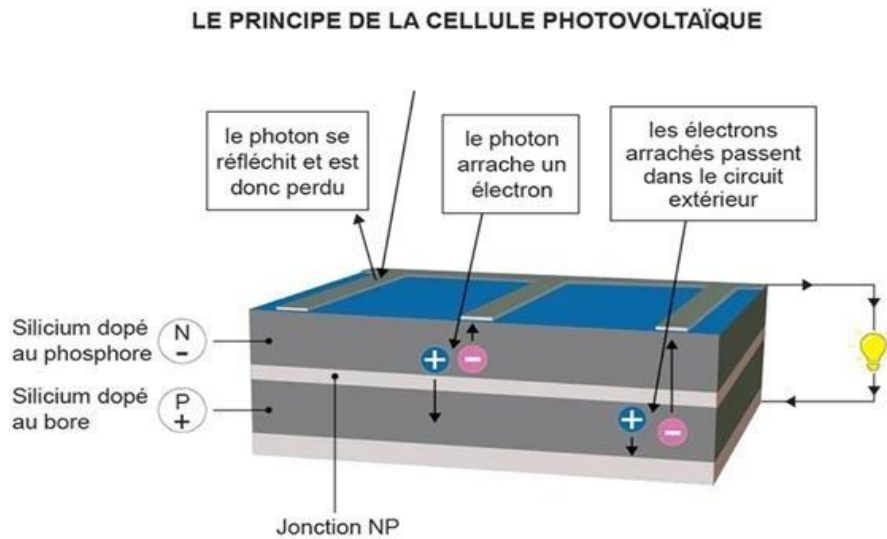


Figure 5: Le principe la cellule photovoltaïque

4. La cellule photovoltaïque (photopile) :

Une cellule photovoltaïque (ou photopile) est un appareil capable de convertir l'énergie lumineuse en courant électrique.

Elle est également connue sous le nom de photopile. Des scientifiques des laboratoires Bell ont créé la première photopile en 1954, après avoir découvert que l'ajout d'impuretés pouvait augmenter la photosensibilité du silicium. Tous les semi-conducteurs sont soumis à cette méthode connue sous le nom de "dopage".

En effet, les photopiles sont la meilleure option pour répondre aux besoins en électricité dans tout endroit isolé. Mais également pour générer un courant électrique non polluant et sans danger pour alimenter les réseaux de distribution, les sites isolés et les installations autonomes. Les lingots sont utilisés pour fabriquer les cellules. Les propriétés électroniques du silicium sont acquises lorsque les atomes étrangers (impuretés) sont substitués dans un réseau cristallin.[6]

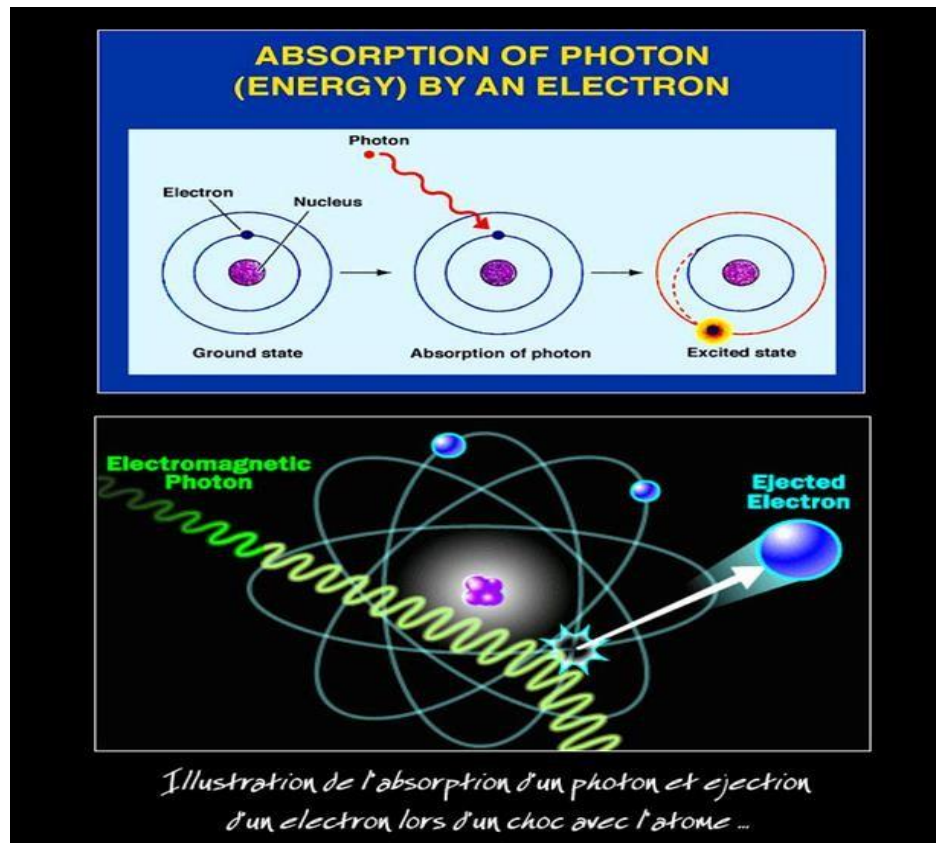


Figure 6: Collision entre un photon et un atome

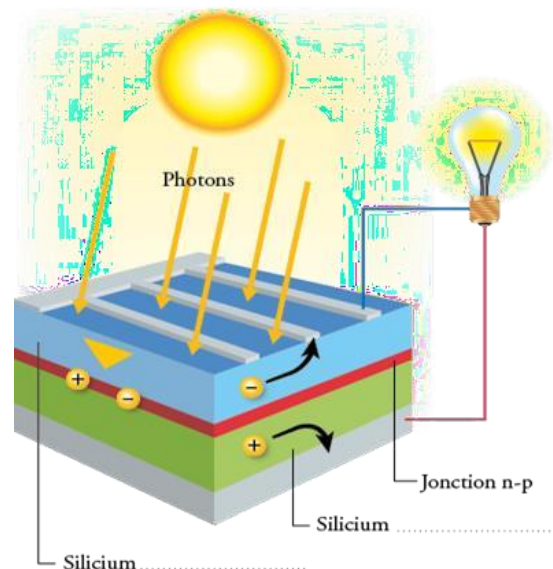


Figure 7: Représentation schématique d'une cellule solaire

Par conséquent, une cellule photovoltaïque est un appareil capable de convertir l'énergie solaire en énergie électrique. Les trois mécanismes suivants sont à l'origine de cette transformation :

- Le matériau composant le dispositif absorbe les photons (dont l'énergie dépasse le fossé)

- L'énergie du photon est convertie en énergie électrique, ce qui correspond à la création de paires électrons/trous dans le matériau semi-conducteur,
- Collecte des particules produites dans le dispositif.

4.1 Les différents types de cellules solaires photovoltaïques :

- **Les cellules monocristallines :**

Elles sont formées d'un cristal à deux couches, généralement composé de silicium. Cependant, leur fabrication est coûteuse et leur rendement varie entre 15 et 22 %. Ces panneaux sont actuellement indispensables sur le marché du photovoltaïque car ils sont de véritables générateurs d'énergie en permanence.

Le rendement moyen est de 12 à 21 %.

- **Les cellules composées de poly cristallines :**

Elles sont moins chères car elles sont constituées de plusieurs cristaux. Néanmoins, leur taux de réussite ne dépasse pas 10 à 13 %.

Lorsque l'ensoleillement direct est garanti, ces panneaux sont généralement utilisés pour construire des centrales photovoltaïques. Le taux de rendement moyen est de 13 %.

- **Les cellules qui sont amorphes :**

Bien qu'elles aient un rendement faible (5 à 10 %), leur prix est extrêmement bas. Ces solutions sont les meilleures en termes de qualité/prix et fonctionnent bien malgré leur faible luminosité. Le taux de rendement moyen est d'environ 7 %.[6]

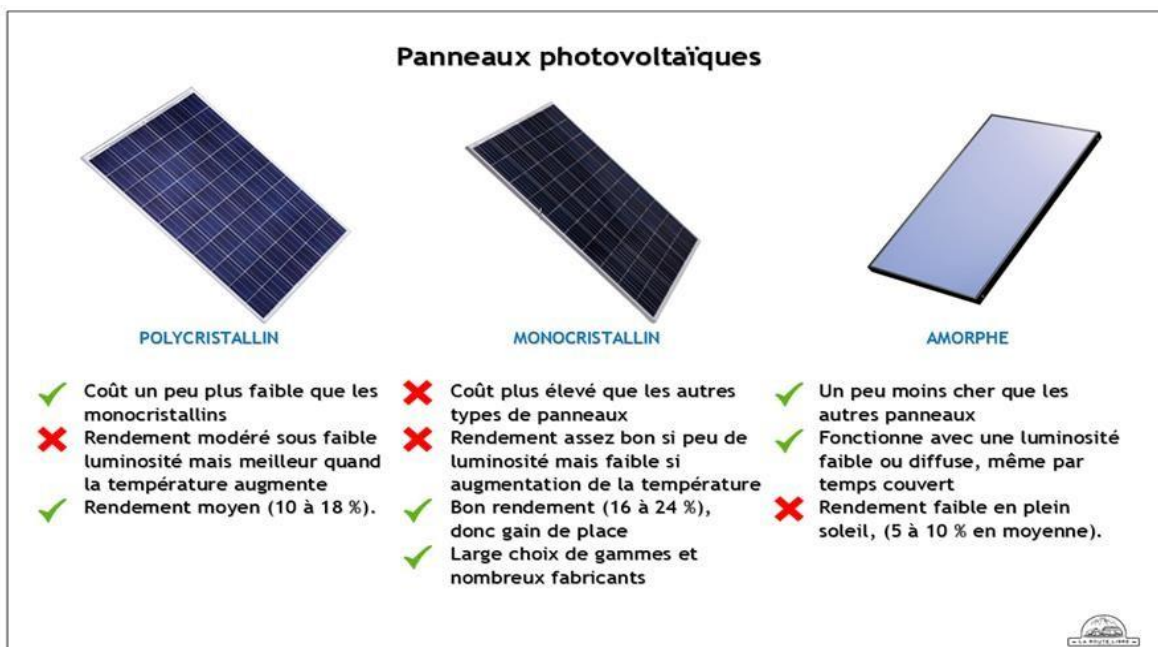


Figure 8: les différents types des panneaux photovoltaïques

5. Modélisation du système photovoltaïque :

Le système photovoltaïque est conçu pour convertir l'énergie solaire en énergie électrique avec différentes technologies.

Un panneau photovoltaïque est composé de plusieurs modules qui sont l'assemblage en série et/ou en parallèle des cellules PV pour obtenir des caractéristiques électriques maximales.

Une cellule PV est modélisée sous un schéma électrique équivalent de deux manières :

5.1 Modèle à une diode : [6]

La cellule PV est représentée par le circuit électrique équivalent de la figure qui se compose de :

- Une diode ;
- Une source de courant du flux lumineux ;
- Une résistance shunt pour représenter le courant de fuite dans la diode ;
- Une résistance série pour représenter les pertes en tension.

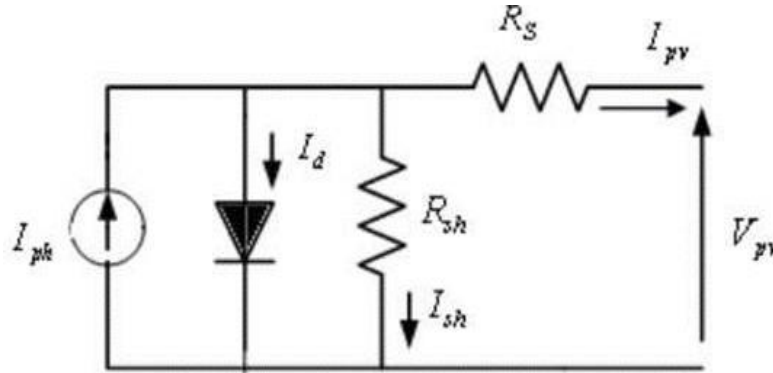


Figure 9: Schéma équivalent d'une cellule PV avec une seule diode

L'équation caractéristique est déduite d'une manière directe à partir de la loi de Kirchhoff :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (1.1)$$

En remplaçant le courant de la traversant la diode l'équation devient.

$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \left(e^{\frac{V_{pv} + I_{pv} \times R_s}{V_{th}}} - 1 \right) - \frac{V_{pv} + I_{pv} \times R_s}{R_{sh}} \quad (1.2)$$

La caractéristique I(V) et P(V) sont représentées par la figure

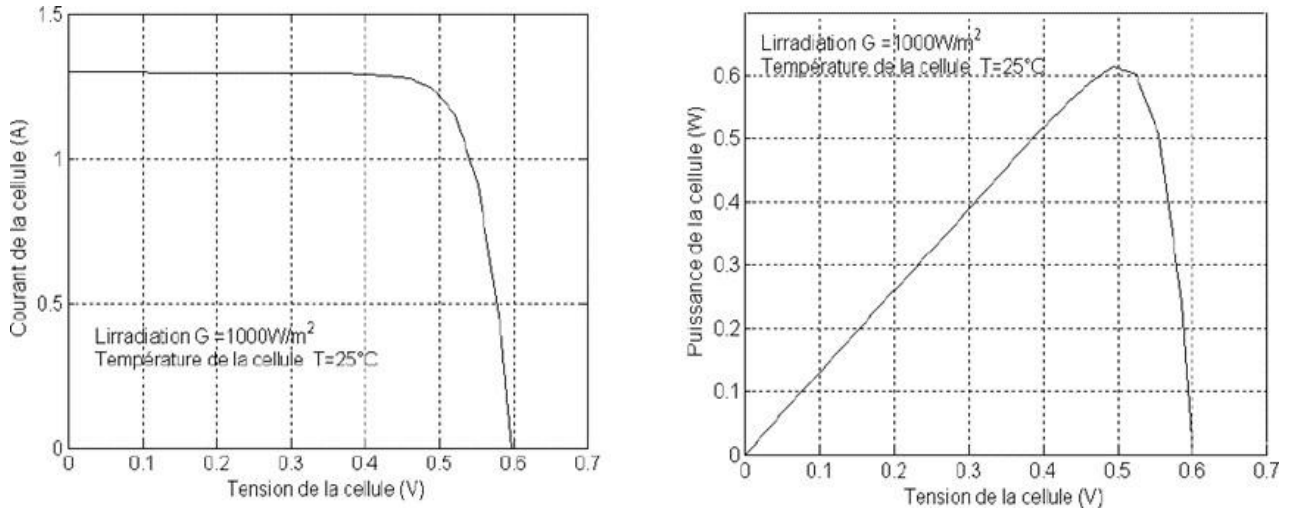


Figure 10: Caractéristique I(V) et P(V) d'une cellule photovoltaïque à une seule diode

5.2 Modèle à deux diodes :[6]

Il consiste en la description mathématique d'un circuit réalisé par la connexion en parallèle de deux diodes ayant les courants de saturation I_{s1} et I_{s2} , une source de courant produisant un photo-courant I_{ph} , qui dépend de l'éclairement solaire, ainsi que les deux résistances série et shunt pour représenter les pertes en courant.

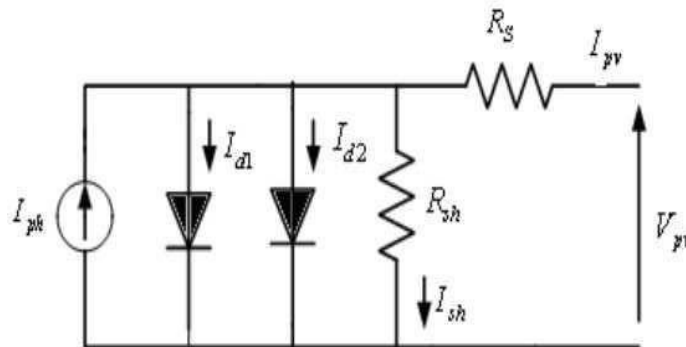


Figure 11: Schéma équivalent du modèle à deux exponentielles

L'équation caractéristique est déduite d'une manière directe à partir de la loi de Kirchhoff :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{d1} - I_{d2} - I_{sh} \quad (1.3)$$

Le courant électrique produit par la cellule est alors donné par l'expression suivante

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{s1} \left(e^{\frac{V_{pv} + I_{pv} \times R_s}{V_{t1}}} - 1 \right) - I_{s2} \left(e^{\frac{V_{pv} + I_{pv} \times R_s}{V_{t2}}} - 1 \right) - \frac{V_{pv} + I_{pv} \times R_s}{R_{ch}} \quad (1.4)$$

La caractéristique I(V) et P(V) sont représentées par la figure

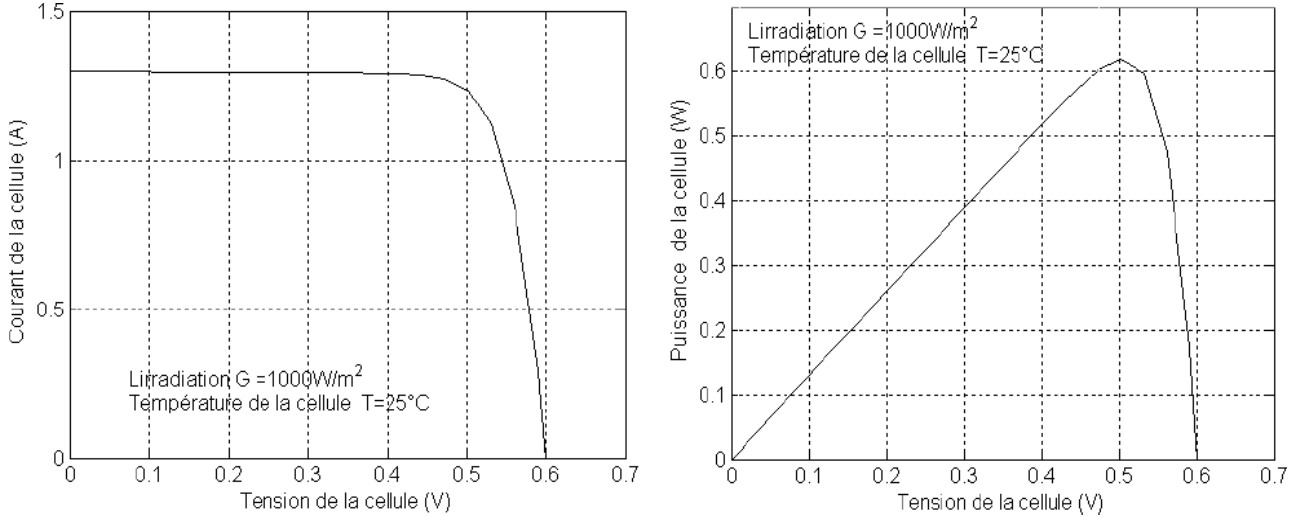


Figure 12: Caractéristique I(V) et P(V) d'une cellule photovoltaïque avec deux diodes

Remarque :

Les caractéristiques I(V) et P(V) des deux modèles sont presque identiques, mais le modèle à deux diodes est le plus utilisé. La deuxième diode mise en parallèle prend en compte la différence dans l'écoulement du courant de basse valeur due à la recombinaison de charges dans la région de la zone de charge d'espace du semi-conducteur ; ce qui fournit plus de précision aux deux courbes.

6. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons parlé de l'importance des cellules solaires photovoltaïques dans la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique. Nous avons exploré les différents types de cellules solaires, y compris monocristallines, poly cristallines et amorphes, en soulignant leurs caractéristiques, leurs rendements et leurs applications spécifiques.

De plus, nous avons discuté de la modélisation des systèmes photovoltaïques, en mettant en évidence des modèles à une et deux diodes. Ces modèles permettent de représenter efficacement le comportement électrique des cellules solaires et d'améliorer leurs performances.

Enfin, nous avons discuté de l'interaction du rayonnement solaire avec l'atmosphère terrestre, mis en évidence des concepts tels que la masse d'air et les coordonnées de la Terre, qui affectent la quantité d'énergie solaire atteignant les cellules photovoltaïques

Chapitre 2

Composants du système photovoltaïque

2. Composants du système photovoltaïque

1. Introduction :

Dans le deuxième chapitre, nous avons abordé en profondeur les composants et le fonctionnement des systèmes photovoltaïques, avec un accent particulier sur les modules photovoltaïques. Dans ce chapitre, je m'attarderai sur la configuration des modules photovoltaïques, comment connecter les cellules, les méthodes de conditionnement, ainsi que les caractéristiques électriques et les performances des générateurs photovoltaïques. J'explique également l'importance de l'onduleur dans la conversion de l'énergie solaire en électricité utilisable. Dans ce guide, vous trouverez un aperçu complet et détaillé des techniques et pratiques de base à connaître pour la conception, l'installation et la maintenance des systèmes photovoltaïques

2. Le module photovoltaïque :

Un générateur photovoltaïque ou module est constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques élémentaires montées en série et /ou parallèle afin d'obtenir des caractéristiques électriques désirées tels que la puissance, le courant de court-circuit et la tension en circuit ouvert.

2.1 La constitution d'un module photovoltaïque :

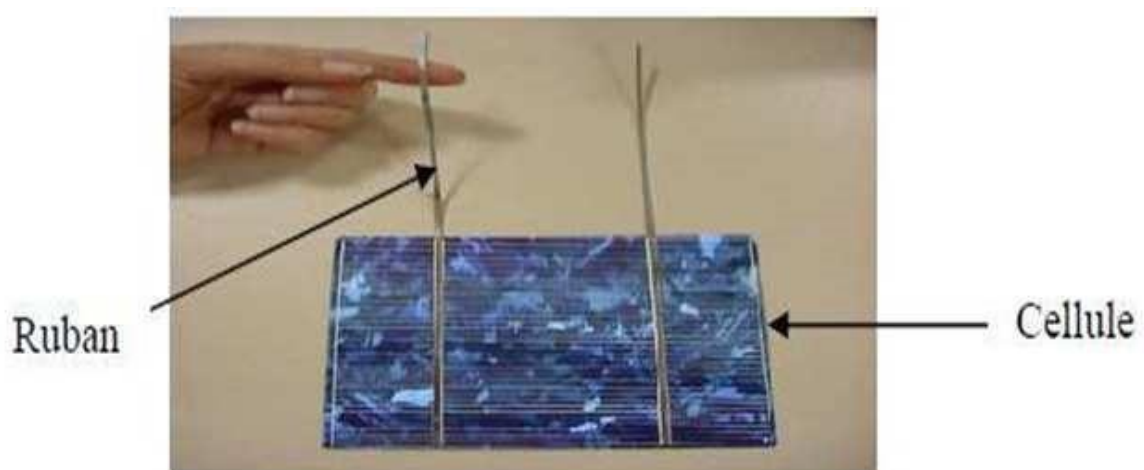


Figure 13: Constitution d'un module PV

Les cellules sont connectées entre elles par un fin ruban métallique (cuivre étamé), du contact en face avant (-) au contact en face arrière (+)

Les cellules sont encapsulées sous vide entre deux films thermoplastiques transparents (EVA : Éthylène Acétate de Vinyle). La plupart du temps, un cadre en aluminium est utilisé avec un joint périphérique pour faciliter la dilatation. En face avant, un verre trempé assure une protection mécanique des cellules tout en permettant la lumière de pénétrer. La partie postérieure est faite de verre ou de feuille TEDLER. [7]

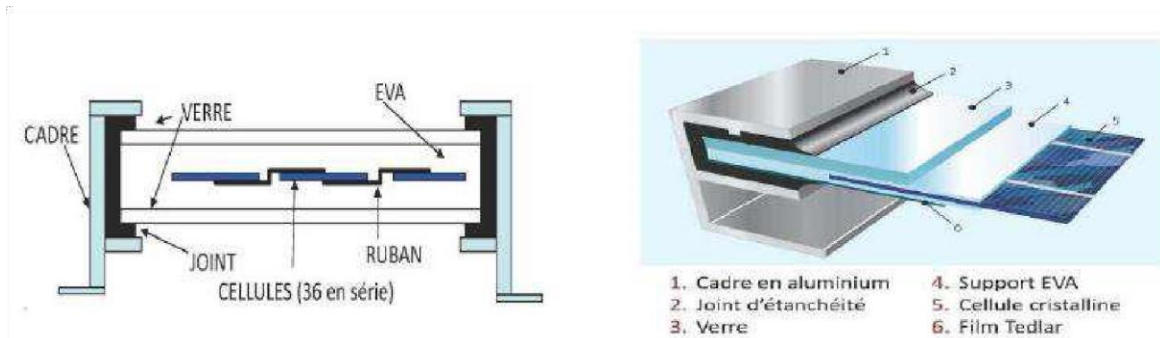


Figure 14: Encapsulation des cellules

2.2 Des cellules au module PV :

Un module solaire est constitué d'un groupe de cellules solaires identiques reliées entre elles en série ou en parallèle.

• Association des cellules en série :

Une combinaison de (N_s) cellules en série entraîne une augmentation de la tension du générateur solaire. On traverse alors les cellules avec le même courant et on obtient la caractéristique de groupement série en additionnant les tensions élémentaires de chaque cellule. Un tel regroupement est représenté [8]

L'équation (1.a) résume les caractéristiques électriques d'une association série de cellules (N_s).

$$V_{coNS} = N_s \cdot V_{co} \quad (1.a)$$

$$I_{cc} = I_{ccNS} \quad (1.b)$$

N_s : nombre de cellules en séries

V_{coNS} : la somme des tensions en circuit ouvert de N_s cellules en série.

I_{ccNS} : courant de court-circuit de N_s cellules en série.

En général, ce système d'association est le plus couramment employé pour les modules solaires.

Étant donné l'augmentation de la surface des cellules, le courant généré par une seule cellule augmente progressivement au fur et à mesure de l'avancement technologique, tandis que sa tension reste toujours très faible.

Grâce à l'association série, il est possible d'augmenter la tension de l'ensemble, ce qui entraîne une augmentation de sa puissance. [8]

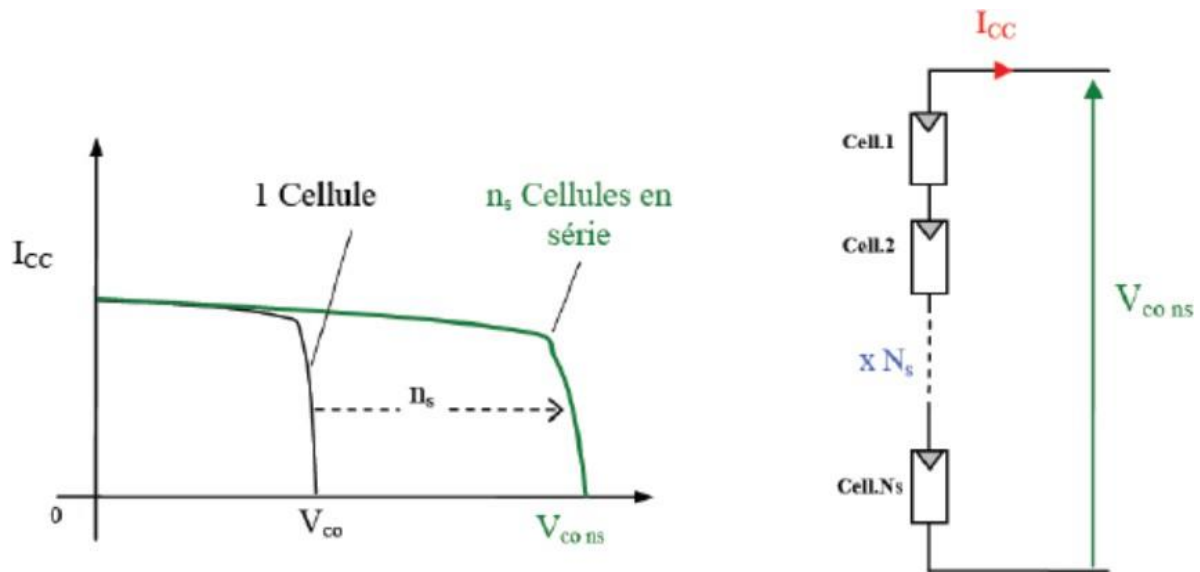


Figure 15: Caractéristiques résultantes d'un groupement de cellules en série (N_s)

- **Association des cellules en parallèle :**

Une association parallèle de (N_p) cellules est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants. [8]

Les équations (2.a et 2.b) et la figure 2. 3 résument les caractéristiques électriques d'une association parallèle de cellules (N_p).

$$I_{ccNP} = N_p \cdot I_{cc} \quad (2.a)$$

$$V_{co} = V_{conp} \quad (2.b)$$

Avec :

N_p : nombre de cellules en parallèles

I_{ccNP} : la somme des courants de court-circuit de (N_p) cellules en parallèle.

V_{conp} : la tension du circuit ouvert de (N_p) cellules en parallèle.

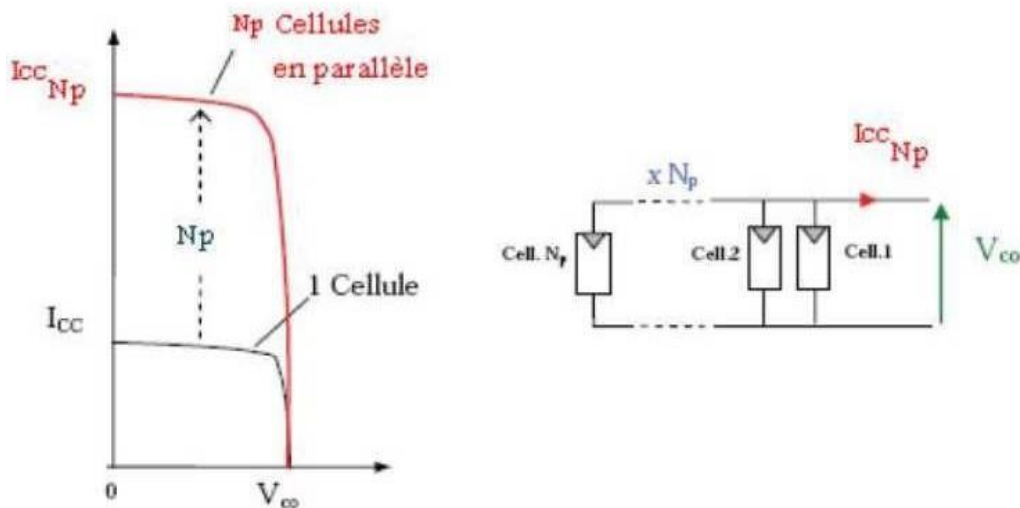


Figure 16: Caractéristiques d'un groupement de cellules en parallèle (N_p)

• Association des cellules série et parallèle :

La caractéristique ($I_{pv} - V_{pv}$) d'un générateur solaire peut être considérée comme le fruit d'une association d'un réseau de ($N_s \cdot N_p$) cellules en série /parallèle. La caractéristique globale peut en outre, varier en fonction de l'éclairement, température, du vieillissement des cellules et les effets d'ombrage ou d'inhomogénéité de l'éclairement.

En outre, il n'est qu'une simple occultation ou détérioration d'une des cellules en série qui entraîne une forte baisse du courant généré par le module photovoltaïque.

Lorsque le courant débité est supérieur au courant produit par la cellule faiblement éclairée, la tension de celle-ci devient négative et devient un élément récepteur. Celle-ci provoque une dissipation importante de puissance électrique qui pourrait aboutir à sa destruction si le défaut persiste trop longtemps. Il s'agit de l'événement du point chaud. Afin de résoudre ce problème, les panneaux photovoltaïques sont équipés de diodes by-pass qui ont pour fonction de préserver les cellules qui deviennent passives.

On observe bien la déformation de la courbe ($I_{pv} - V_{pv}$) liée à un effet d'ombrage partiel du module PV. La diode by-pass lorsqu'elle se met à fonctionner, court-circuite alors une partie du panneau comme indiqué en figure 2.4, évitant ainsi la circulation du courant inverse au sein des cellules défectueuses. Par contre, cette solution efficace réduit d'autant plus la puissance délivrée ainsi que la tension aux bornes du panneau. La dégradation d'une seule cellule condamne donc le groupe de cellules associées à la cellule défectueuse, elle est protégée par la diode (by-pass) à ne pas produire de puissance. Ce phénomène de perte parallèle de puissance est à comparer à la perte totale d'un panneau entier en cas de problème sur une cellule avec un panneau fonctionnant sans protection. Un tel regroupement des cellules (série et parallèle) avec diode de protection sont représentés par la figure qui suit.

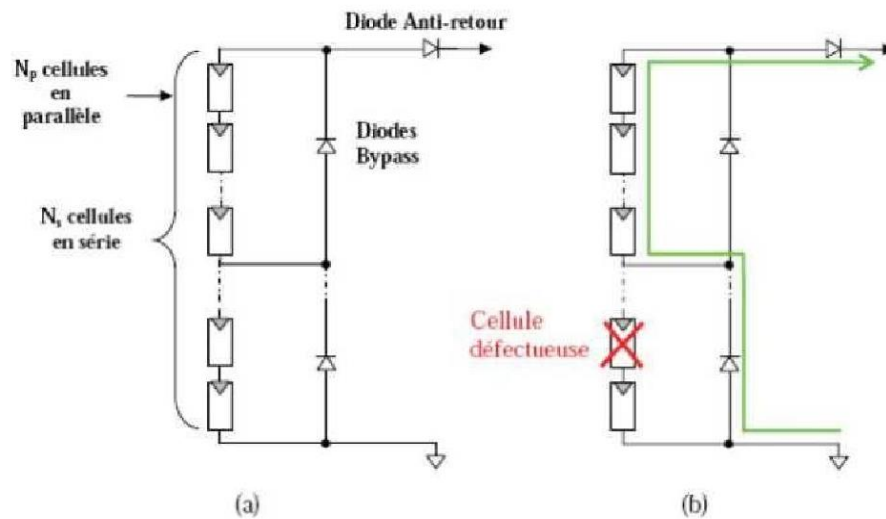


Figure 17: (a) Architecture classique d'un panneau solaire photovoltaïque avec diodes de protections. (b) Défaillance d'une des cellules du module PV et activation de diode de circulation I_{pv}

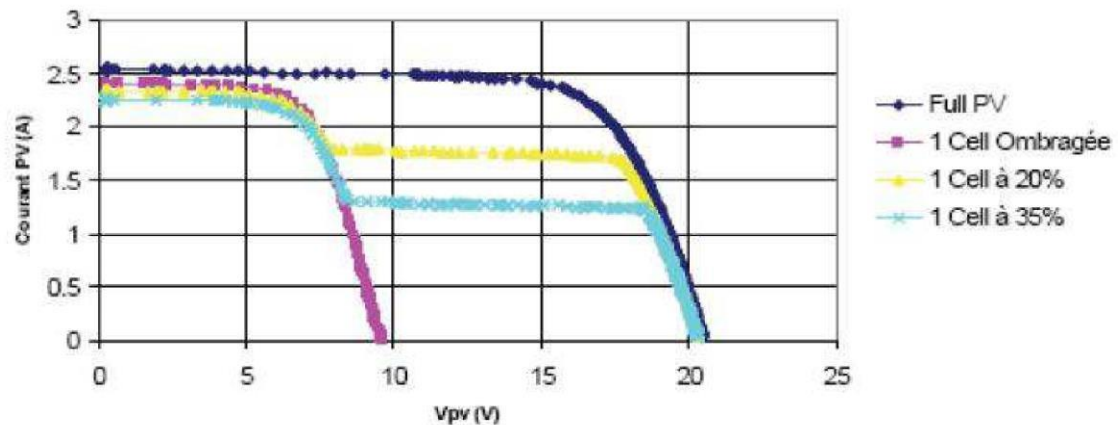


Figure 18: caractéristique (I_{pv} - V_{pv}) sous l'effet de l'ombrage d'un panneau photovoltaïque et effet d'une des (60) cellules qui composent le module PV

On s'aperçoit donc que la maîtrise de cette énergie photovoltaïque n'est pas aussi simple qu'il n'y paraît. La production de courant dans un module photovoltaïque du commerce est donc limitée par la cellule la plus faible de l'ensemble. Généralement, lors de l'assemblage des cellules, il faut les classer selon leurs propriétés électriques pour obtenir une association homogène et ainsi éviter de restreindre la puissance fournie par le panneau en raison d'une dispersion des cellules. En outre, le processus de vieillissement des cellules peut entraîner une dispersion des traits. Il est difficile de maîtriser l'énergie photovoltaïque en raison des conditions météorologiques

auxquelles les modules sont exposés (ensoleillement inégal, température, salissures, neige, pluie, dépôt de feuilles mortes...).

2.3 Caractéristique courant-tension d'un module PV :

Les caractéristiques électriques d'un panneau photovoltaïque varient en fonction de la température, de l'éclairement et, de façon générale, des conditions de fonctionnement lorsqu'il est connecté à une charge donnée. Nous rappelons brièvement dans ce paragraphe le comportement du générateur soumis à diverses contraintes. Ces notions sont en effet nécessaires pour comprendre le comportement d'un générateur PV et ensuite effectuer des optimisations de fonctionnement figure 7.

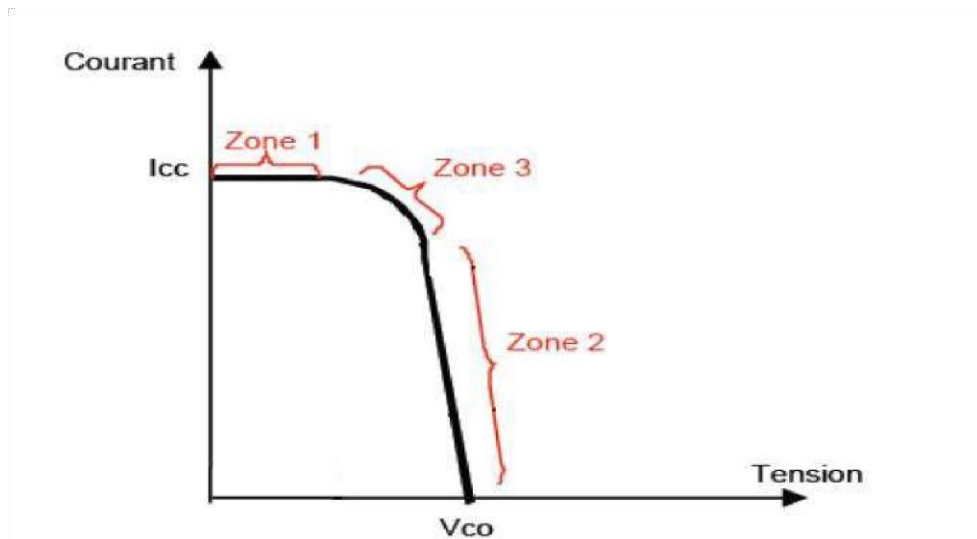


Figure 19: Caractéristique $I(V)$ d'un module photovoltaïque

Un générateur photovoltaïque composé de plusieurs cellules présente une apparence générale similaire à celle d'un générateur élémentaire, à condition qu'il n'y ait pas de déséquilibre entre les caractéristiques de chaque cellule (irradiation et température uniforme). Nous pouvons décomposer la caractéristique $I(V)$ d'un générateur photovoltaïque en trois zones

- Une zone assimilable à un générateur de courant I_{cc} proportionnel à l'irradiation, d'admittance interne pouvant être modélisée par $1/R_{sh}$ (zone 1).
- Une zone assimilable à un générateur de tension V_{co} d'impédance interne équivalente à la résistance série R_s (zone 2).
- Une zone où l'impédance interne du générateur varie très fortement de R_s à R_{sh} (zone 3). C'est dans la zone 3 se situe le point de fonctionnement pour lequel la puissance fournie par le générateur est maximale. Ce point est appelé point de puissance optimale, caractérisé par le couple I_{max} , V_{max} et seule une charge dont la caractéristique passe par ce point, permet d'extraire la puissance disponible dans les conditions considérées.

En effet, il est possible et fréquemment employé les deux types de regroupement pour obtenir les valeurs de tension et d'intensité désirées en sortie. Donc, pour une série de N_s cellules, qui sont des branches elles-mêmes N_p en parallèle, la puissance disponible en série du générateur photovoltaïque est donnée par :

$$P_{pv} = N_s \cdot V_{pv} \cdot N_p \cdot I_{pv} \quad (3)$$

Avec :

P_{pv} : La puissance disponible en sortie du GPV.

V_{pv} : la tension à la sortie du GPV.

I_{pv} : le courant de sortie du GPV.

2.4 Présentation d'une Fiche technique :

Une fiche technique est une fiche où sont mentionnées les informations nécessaires d'un élément, pour sa bonne utilisation et pour un fonctionnement adéquat.

Après avoir été testé dans un laboratoire dans les conditions standards, une fiche technique fournit diverses informations qui varient en fonction du fabricant, comme la tension à vide (V_{co}), le courant de court-circuit (I_{cc}), la puissance maximale (P_{max}) et le rendement (η).

Exemple :

Fabricant : Solar Integrated

Caractéristique	Valeur	Unité
Puissance maximale (P_{max})	250	W
Tension à circuit ouvert (V_{oc})	36,2	V
Courant de court-circuit (I_{sc})	9,45	A
Tension de puissance maximale (V_{mp})	30	V
Courant de puissance maximale (I_{mp})	8,33	A
Rendement	18,15	%
Facteur de forme	0,77	-
Température de fonctionnement nominale (NOCT)	45	°C
Température maximale de cellule	85	°C
Dimensions	1640 x 992 x 40	mm
Poids	20	kg
Garantie de puissance	90% pendant 10 ans, 80% pendant 25 ans	-

Figure 20: Extrait d'une fiche technique

Cette fiche technique fournie à l'utilisateur des informations du module PV de puissance nominale 240 Wc.

3. L'onduleur :

Un onduleur est un dispositif d'électronique de puissance qui permet de convertir une tension et un courant continu en une tension et un courant alternatif. On distinguera donc toujours la partie continue notée CC (Courant Continu), en amont de l'onduleur, et la partie alternative notée CA (Courant Alternatif), en aval de l'onduleur.

3.1 Rôle de l'onduleur :

Actuellement, la plupart des appareils électriques présents sur le marché étant adaptés à la tension alternative du réseau, les fabricants ne proposent pas d'équivalents révisés à la tension continue. Ainsi, il est essentiel d'avoir un onduleur pour offrir à l'utilisateur une large sélection de ces équipements électriques. Il est important de distinguer deux grandes catégories d'onduleurs : [8]

- **Les onduleurs assistés par une source de tension alternative :**

Ceux-ci convertissent un signal continu en un signal alternatif compatible avec cette source de tension, c'est-à-dire présentant les mêmes propriétés (valeur efficace, fréquence). Ces onduleurs sont utilisés dans le cas des installations photovoltaïques raccordées au réseau (l'onduleur fournit alors une tension alternative équivalente à la tension du réseau.

- **Les onduleurs autonomes :**

Ceux-ci peuvent fonctionner sans la présence d'une source de tension alternative externe. Ils fournissent une tension alternative conforme à la demande de l'utilisateur.

3.2 Dimensionnement de l'onduleur :

- **Partie CC :**

L'onduleur doit être adapté à la tension du système imposé par le parc de batteries. Les fabricants prévoient généralement des tensions d'entrée de 12 V, 24 V ou 48 V.

- **Partie CA :**

L'onduleur imposera un signal de sortie adaptée aux appareils qu'il alimente, par exemple (cas général) :

- Tension alternative de fréquence 50 Hz
- Valeur de la tension efficace : $U_{\text{eff}} = 230 \text{ V}$

- **Puissance nominale :**

L'onduleur doit être dimensionné de manière à ce que sa puissance nominale couvre la somme des puissances de tous les utilisateurs que l'on souhaite utiliser en même temps.

- **Courants de démarrage des appareils électriques :**

Il est nécessaire que l'onduleur puisse fournir un courant élevé pendant une courte période pour certains appareils électriques qui fonctionnent sous une tension alternative et qui nécessitent un courant élevé aux débuts.

Les régulateurs ne peuvent pas absorber les courants de démarrage intenses, également connus sous le nom de côté CA. Il est donc déconseillé de relier l'onduleur à l'une des sorties CC du régulateur. Il est recommandé de le connecter directement aux batteries, car elles agissent comme un tampon et peuvent générer de forts courants d'appel.

3.3 Performance de l'onduleur :

- **Rendement de l'onduleur :**

L'onduleur, comme tout appareil électrique, est composé d'éléments électroniques (diodes, condensateurs, etc.) qui chauffent lors de son fonctionnement, donc une partie de la puissance continue en entrée de l'onduleur est donc dissipée sous forme de chaleur. On définit alors le rendement de l'onduleur comme le rapport de la puissance de sortie (alternative) sur la puissance d'entrée (continue) :

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

- **Effet de la température sur l'onduleur :**

Un onduleur se met à chauffer en raison de son taux de conversion. Il est donc nécessaire d'évacuer cette chaleur pour éviter de dépasser la température maximale de son activité. L'évacuation peut se faire simplement par convection naturelle pour les onduleurs de petite puissance ou par présence de ventilateur pour les onduleurs de plus grosses puissances, et la présence de ce dernier introduit une consommation supplémentaire qui pénalise légèrement le rendement global du système. Dans tous les cas, l'onduleur doit se situer dans un local bien ventilé. En général, la plage de température de fonctionnement d'un onduleur est comprise entre -25°C et 60 °C.

Lorsque la température de l'onduleur dépasse la valeur maximale, l'onduleur limite volontairement la puissance délivrée (afin de protéger les composants contre toute surchauffe). L'onduleur continue donc de fonctionner mais limite le courant des équipements électriques. Par ailleurs, un fonctionnement sous une température continuellement élevée réduit la durée de vie de l'onduleur.

Lorsque la température de l'onduleur est inférieure à la température minimale, l'onduleur ne se met pas en marche.

- **Consommation en veille :**

Beaucoup d'onduleurs continuent à consommer du courant alors que tous les appareils électriques sont éteints. Afin d'économiser l'énergie des batteries, il est préférable de sélectionner un onduleur qui présente la fonction stand-by (consommation en mode d'attente). Avec cette fonction, l'onduleur s'arrête et se met automatiquement en mode de recherche de charge. L'onduleur se remet en marche dès qu'un appel de puissance est détecté côté CA.

4. Le régulateur :

4.1 Définition d'un régulateur :

D'un point de vue général, un régulateur est un outil permettant de maintenir l'état d'une grandeur égale à une valeur consigne.

Dans le système photovoltaïque, le régulateur est un composant très important pour contrôler l'état de la batterie (charge et décharge), puisque la tension fournie par le champ photovoltaïque est une grandeur fluctuante qui dépend des conditions climatiques. [11]

4.2 Rôles de la régulation :

Dans une installation photovoltaïque autonome, le régulateur doit assurer les deux fonctions essentielles qui sont la gestion de la charge et de la décharge des batteries. [11]

4.2.1 Types de régulateurs :

- **Régulateur « tout ou rien » :**

Lorsque le module photovoltaïque est branché aux bornes d'une batterie, le point de fonctionnement est déterminé par l'intersection entre les deux caractéristiques courant-tension ; Par conséquent, afin d'éviter d'endommager la batterie par dépassement de sa tension maximale admissible, il convient de déconnecter le module photovoltaïque. C'est ainsi que fonctionne le régulateur "tout ou rien" lors de la charge des batteries : soit il connecte le champ photovoltaïque au parc de batteries, soit il le coupe lorsque la tension devient trop importante.

- **Régulateur MLI :**

Le régulateur MLI a été conçu, vers la fin des Années 1990, afin de lever l'inconvénient majeur des régulateurs "tout ou rien" vis-à-vis de la fin de charge. Sa valeur ajoutée est donc une fin de charge optimale avec un état de charge de 100% (au lieu de 75% pour le régulateur "tout ou rien").

En début de charge, le régulateur MLI fonctionne comme le régulateur "tout-ou-rien". En fin de charge (à partir d'un état de charge de l'ordre de 70%), Le régulateur MLI est un hacheur qui abaisse la tension du champ photovoltaïque afin que celle-ci soit supportable par le parc de batteries.

- **Régulateur PPM :**

Ces régulateurs fonctionnent soit en élevant, soit en réduisant la tension. Un premier circuit ajuste la demande au point de puissance maximale de l'ensemble des panneaux et le deuxième circuit transforme le courant et la tension pour les adapter au type de batterie. Le régulateur MPPT coûte en général beaucoup plus cher qu'un régulateur standard. C'est pour cette raison que son utilisation n'est pas généralisée, et qu'il n'est pas recommandé pour les petites installations (les pertes ne sont pas assez importantes).

A ces quatre types de circuit on ajoute en général un régulateur de décharge pour empêcher les décharges profondes de la batterie. [11]

4.2.2 Rendements des régulateurs :

Les régulateurs photovoltaïques étant constitués de composants électroniques (transistors, diodes, bobines, condensateurs, etc.), une partie de la puissance électrique les transitant est donc dissipée sous la forme de chaleur.

En pratique, le rendement dépend du taux de charge du régulateur, ainsi qu'illustré sur la courbe de rendement ci-dessous :

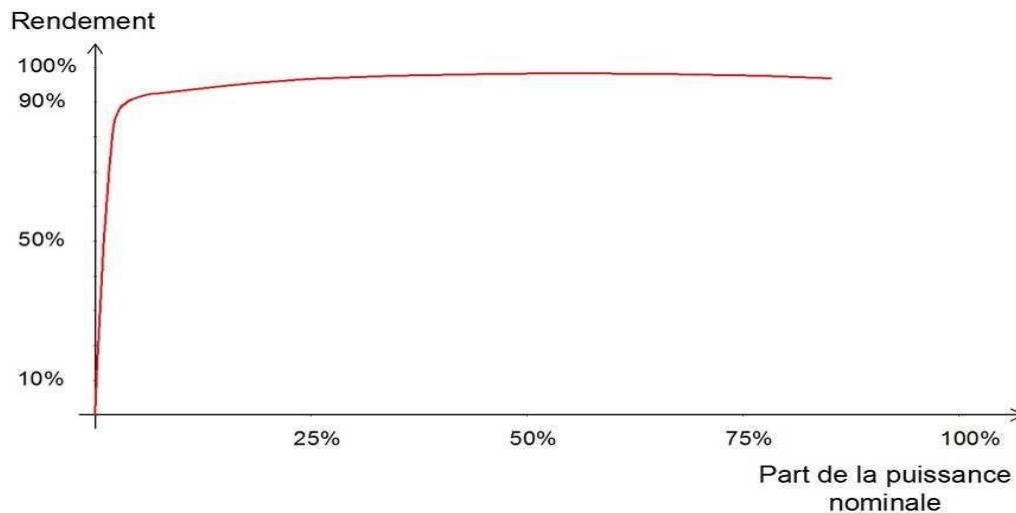


Figure 21: Courbe de rendement d'un régulateur MLI avec fonction MPPT

5. Le système de stockage (Les batteries) :

Le système de stockage est un élément crucial de l'installation photovoltaïque du point de vue technique, mais aussi du point de vue économique ; car il représente 40 à 50 % du coût de l'installation. Vue l'importance du stockage électrochimique de l'énergie solaire, une étude théorique des différents types de batteries est menée, en particulier la batterie au plomb qui est la moins coûteuse comparativement aux autres batteries.

5.1 Définition :

Une batterie est un ensemble d'accumulateurs électriques destinés à stocker de l'énergie et à la restituer ultérieurement. Elle est de type électrochimique et fonctionne grâce aux réactions électrochimiques de ses électrodes. Il y a donc une conversion de l'énergie chimique en énergie électrique. [9]

5.2 Composition des batteries :

Un accumulateur électrochimique est composé de deux électrodes (cathode, anode) reliées à un circuit électrique extérieur et plongeant dans un compartiment rempli d'électrolyte.

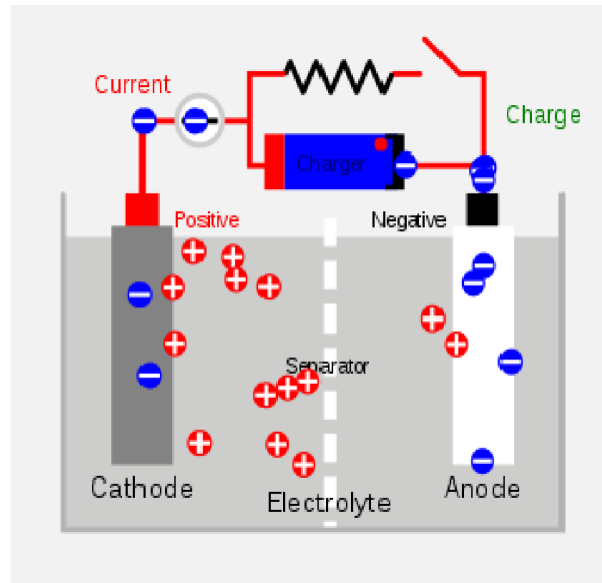


Figure 22: accumulateur électrochimique

Les deux électrodes sont faites de deux métaux différents.

L'électrolyte est un conducteur ionique qui permet le transfert des ions entre les deux électrodes.

5.3 Principales caractéristiques des batteries :

Le choix de la batterie est basé sur plusieurs critères :

- **Tension nominale :**

C'est la force électromotrice de l'accumulateur en fonction du couple électrochimique utilisé, elle s'exprime en volts.

- **Tension de charge :**

C'est la tension minimale à appliquer pour charger efficacement l'accumulateur, elle est exprimée en volts.

- **Capacité de la batterie :**

La capacité C d'une batterie s'exprime en ampères heures (Ah). C'est la quantité de courant qu'elle peut fournir pendant un nombre d'heures précis, à une condition de température de référence (souvent à une température de 20°). La capacité C est donc le produit du courant de charge $I(A)$ par le temps de décharge $t(h)$.

$$C = I \cdot t \quad (4)$$

- **Nombre de cycle :**

C'est l'aptitude de la batterie à supporter des cycles successifs de charge et de décharge. C'est une qualité essentielle pour un accumulateur de pouvoir être chargé un grand nombre de fois.

- **La profondeur de décharge :**

C'est le rapport entre la quantité d'électricité déchargée à un instant t et la capacité de la batterie.

- **Autodécharge :**

C'est la perte en pourcentage de la capacité de la batterie lorsque celle-ci n'est pas utilisée. Cette autodécharge augmente :

- Avec le vieillissement de la batterie.
- Avec la température.
- Suite à un mauvais entretien.
- Suite à une décharge profonde ou une inversion de la polarité.

5.4 Différentes technologies de batteries :

Plusieurs types de batteries sont conçus pour le stockage de l'énergie, en site les quatre types les plus utilisées sont comme suit :

5.4.1 La batterie Nickel-Cadmium (Ni-Cd) :

Le couple Nickel-Cadmium a été exploité pour la 1^{ère} fois en 1890 par Waldemar Jünger, mise en service comme batterie au début du 20^{ème} siècle. Elle se base sur une électrode positive en NiOOH, l'électrolyte une solution alcaline (KOH à 22%) et l'électrode négative est en Cadmium (Cd).

5.4.2 La batterie Nikel-Métal-Hydrure (Ni-MH) :

Afin de surmonter les limitations en capacité des batteries Ni-Cd, des recherches sur un nouveau couple Ni-MH ont commencé en 1967, en remplaçant le Cadmium de l'électrode négative par un composé intermétallique hydratable (MH). Les deux électrodes sont isolées électriquement l'une de l'autre par séparateur afin d'éviter la mise en court-circuit du système. L'électrolyte utilisé est le même que pour le Ni-Cd.

5.4.3 La batterie lithium-ion (Li-Ion) :

Les premières batteries commerciales en Li-Ion, n'ont vu le jour que depuis les débuts des 1990. Aujourd'hui, plusieurs variétés sont disponibles, les plus répandus sont Lithium-Ion (Li-Ion) et Li-Polymères (Li-Po).

5.4.4 La batterie à l'Acide-Plomb :

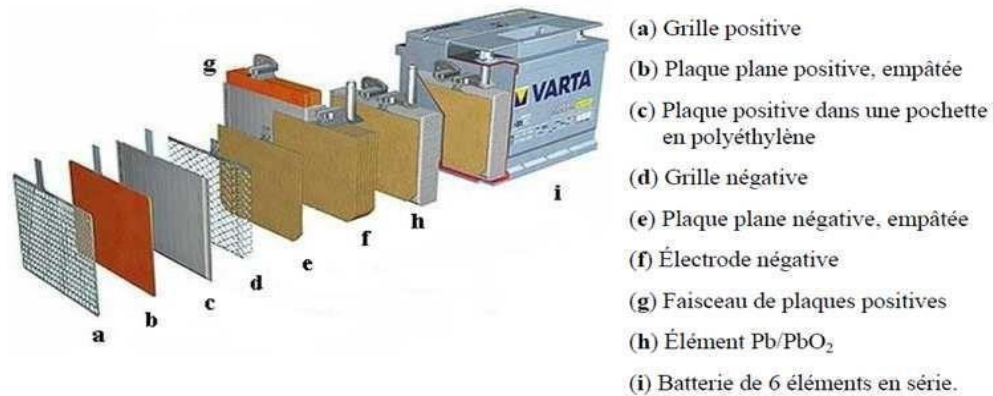


Figure 23: Structure d'une batterie acide-plomb classique

Les batteries de type acide-plomb sont les plus utilisées dans le stockage d'énergie électrique photovoltaïque, vu leurs coûts et leurs caractéristiques. Leurs fonctionnements se basent sur la réaction d'oxydoréduction

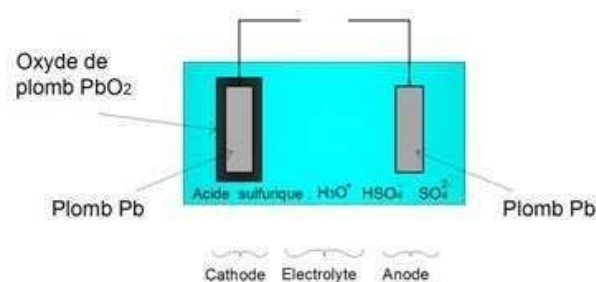


Figure 24: Composition de la batterie acide-plomb

- **Les batteries au gel :**

Les batteries au gel sont des batteries plomb-acide à soupape réglée, sans entretien, avec des décharges très faibles lorsqu'elles ne sont pas utilisées, grâce à la présence de liquide et d'alliages de calcium. Les batteries au gel ne nécessitent aucun contrôle de niveau de liquide ni ajout d'eau distillée.

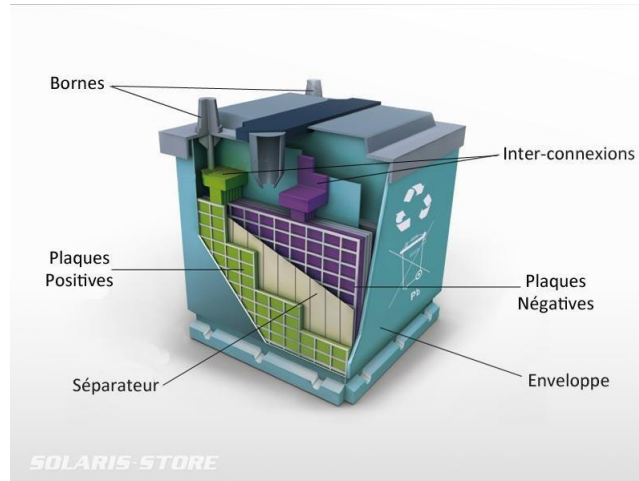


Figure 25: Composition batterie plomb au gel

- **Production de sulfate de plomb :**

La sulfatation a lieu lorsqu'il devient impossible de dissoudre le sulfate de plomb par une charge normale des batteries, ce phénomène est problématique. En effet, le sulfate de plomb se présente sous la forme de cristaux solides qui viennent s'agréger au niveau des électrodes et se développent au cours des cycles de charge/décharge, et s'amplifie d'autant plus que la décharge est profonde, ce qui devient une couche isolante de sulfate de plomb et empêche les réactions chimiques de se produire.



Figure 26: Phénomène de la sulfatation

C'est pour cette raison qu'il est proscrit d'effectuer des décharges profondes à répétition. La limite de décharge est donc limitée à environ 70%.

5.5 Propriétés électrochimiques de la batterie Acide-Plomb :

- **Tension**

La tension d'une batterie correspond à la tension à vide, c'est-à-dire lorsque le courant traversant la batterie est nul. [10]

- **Caractéristique courant-tension :**

Lorsque la batterie est connectée à un récepteur, la tension et le courant, résultant de la connexion de ces deux éléments, dépendent de la caractéristique courant-tension de la batterie et celle du récepteur. Et comme la batterie ne se comporte pas électriquement de la même façon en charge et en décharge, Il est donc important de distinguer ces deux configurations.

- **Lors de la décharge de la batterie :**

Lors de la décharge, la batterie se comporte comme un générateur avec une résistance interne de valeur proche de $10\ \Omega$, ce qui résulte la diminution de la tension de cette dernière lorsque le courant qu'elle débite augmente. [10]

- **Lors de la charge de la batterie :**

Lorsque la batterie est en mode de charge, elle se comporte comme un récepteur au même titre qu'une résistance. [10]

- **Capacité**

La capacité d'une batterie est la quantité d'énergie électrique qu'elle est capable de restituer après avoir reçue une charge complète, pour un courant de décharge donné, une température et une tension d'arrêt définies. Elle utilise le terme "ampèreheure" (Ah). Cette capacité diminue avec l'augmentation du courant de décharge. [10]

- **Système de raccordement et câblage du générateur PV :**

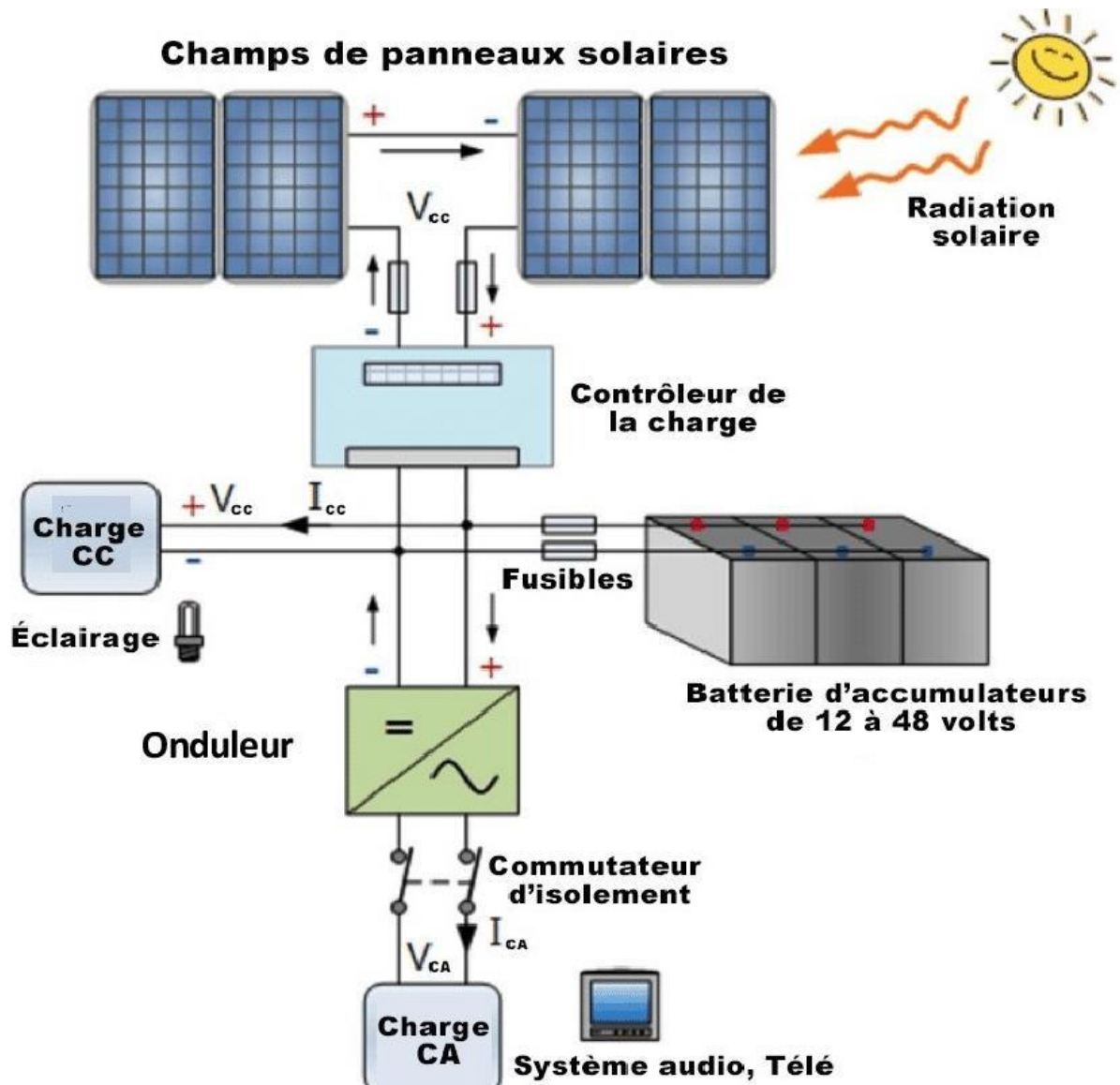


Figure 27: Système de raccordement d'une installation

6. Conclusion :

Différentes technologies ont été développées afin de concevoir un système photovoltaïque, et chaque composant du système présente ses propres avantages et inconvénients. La sélection de ces éléments repose sur leur efficacité. La seconde partie traite de la taille de ces derniers et de leurs performances.

Chapitre 3

***Méthodologie du dimensionnement d'une
installation PV***

3. Méthodologie du dimensionnement d'une installation PV

1. Introduction :

L'approche du dimensionnement implique d'abord de calculer la puissance crête d'un panneau solaire photovoltaïque qui génère l'énergie électrique pendant la journée. Elle implique de définir la durée nécessaire pour l'électricité et la quantité d'énergie nécessaire à la consommation. Peu de calculs sont nécessaires à cette étape, mais elle nécessite une réflexion assez importante car une erreur à ce stade peut rendre l'installation photovoltaïque obsolète. Le processus comprend 08 étapes qui se résument de la manière suivante :

2. Procédure de calcul :

2.1 Etape I : Consommation énergétique :

Il est essentiel d'évaluer la puissance électrique des applications à alimenter pour un système bien adapté. L'énergie nécessaire s'exprime par :

$$E_c = P \times t \quad (3.1)$$

Avec :

E_c : énergie consommée.

P : puissance de fonctionnement de l'appareillage.

t : temps d'utilisation.

Ainsi, l'énergie est le résultat de la puissance au fil du temps. La relation (3.1) offre la possibilité de déterminer les besoins quotidiens en énergie.

Effectivement, étant donné qu'un système photovoltaïque doit générer son énergie tout au long de la journée, il est logique de considérer la période de 24 heures comme une unité de temps.

L'énergie E correspond à l'énergie électrique utilisée par l'application pendant une période de 24 heures, et elle est exprimée en Watt-heure par jour (Wh/j). On l'appelle également consommation quotidienne d'énergie.

Afin d'évaluer la consommation totale d'une installation, il est nécessaire de déterminer tout d'abord l'énergie électrique consommée en 24 heures par chaque équipement ou fonction électrique, puis de les multiplier.

Elle s'exprime par :

$$E_t = \sum P_i \times T \quad (3.2)$$

Avec :

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

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

La consommation quotidienne peut également être exprimée en Ampère - heure par jour (Ah/j), une unité pratique pour tous les systèmes reliés à une batterie.

En raison du fonctionnement alternatif de ces équipements et de la consommation énergétique via un onduleur, il est essentiel de prendre en considération le rendement de l'onduleur pour évaluer la puissance requise, on écrit alors :

Puissance corrigée = Puissance des appareils à alimenter $\times$ Rendement de l'onduleur

2.2 Etape II : Energie solaire récupérable :

- Inclinaison et orientation optimales des capteurs photovoltaïques**

L'énergie fournie par les capteurs photovoltaïques est directement proportionnelle à l'ensoleillement. Afin d'optimiser au mieux l'installation solaire il faut donc tenir compte de ce facteur, qui dépend à son tour du lieu de l'installation, de l'orientation et de l'inclinaison de ces capteurs.

Idéalement, Ils doivent être orientés en plein Sud dans l'hémisphère Nord et en plein Nord dans l'hémisphère Sud, à l'écart des zones ombragées, et inclinés d'un angle qui permet l'optimisation de l'énergie récupérée.

Un plan incliné est caractérisé par son inclinaison β (par rapport à l'horizontale), et son orientation ou azimut χ par rapport au sud. [12]

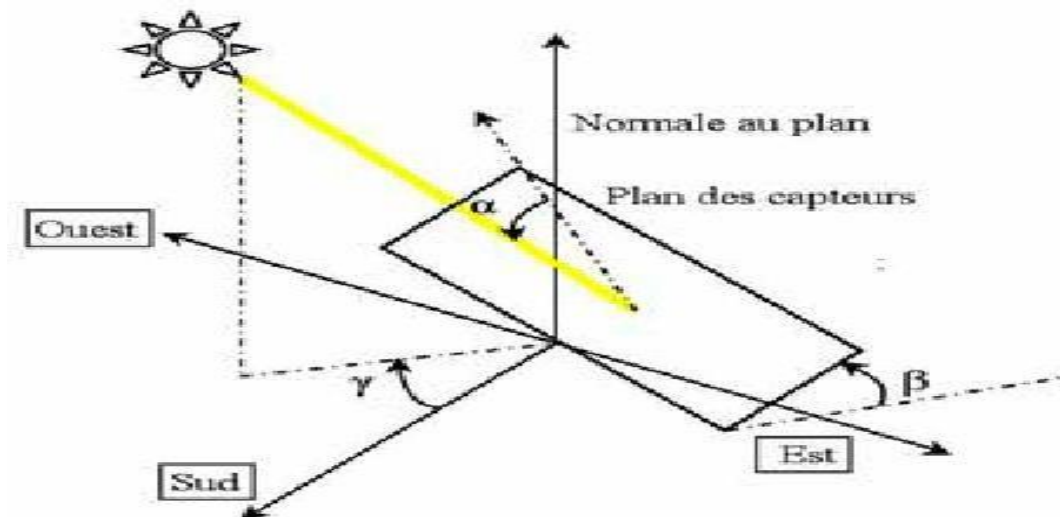


Figure 28: Définition des angles pour un plan incliné : inclinaison β , azimut χ et l'angle d'incidence α . [12]

Les rayons sont plus proches de la perpendiculaire au plan des panneaux ($\cos \alpha \approx 1$), ce qui entraîne une augmentation de la quantité d'énergie disponible.

La latitude du lieu est en moyenne égale à l'inclinaison optimale pour maximiser l'énergie annuelle produite sur l'année.

Une inclinaison supérieure à la latitude peut accroître l'énergie récupérée en hiver (la trajectoire du soleil est basse dans le ciel), au détriment de celle récupérée en été. On effectue l'inverse pour une inclinaison inférieure à la latitude.

Ces aspects sont pris en considération lors de la planification d'un système solaire photovoltaïque.

Les valeurs de l'inclinaison recommandée des capteurs photovoltaïques pour une utilisation

Tableau 1: montre la corrélation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux pour une utilisation annuelle.[13]

Latitude α (°)	Inclinaison β (°)
$\alpha < 10^\circ$	10°
$10^\circ < \alpha < 30^\circ$	α
$30^\circ < \alpha < 40^\circ$	$\alpha + 10^\circ$
$\alpha > 40^\circ$	$\alpha + 15^\circ$

- **Ombrage ou repérage des masques**

Il arrive que les modules soient confrontés à un obstacle tels que des bâtiments, des montagnes, des arbres, etc. qui s'opposent au soleil.

Il est très complexe d'estimer intuitivement les effets d'ombrage sur le rayonnement reçu, mais il est important de prendre en compte les ombrages partiels et même ponctuels, car ils ont un impact sur la production d'énergie et entraînent un déficit de production important à prendre en compte.

Il est important de souligner que lorsqu'une cellule est entourée, cela entraîne une réduction du courant de toute la chaîne des cellules en série, ce qui peut entraîner des conséquences graves si les panneaux ne sont pas équipés de diodes anti-retours.

2.3 Etape III : Données météorologiques :

Il est essentiel de connaître le rayonnement solaire utile sur le site d'installation pour concevoir des systèmes photovoltaïques. Cette connaissance constitue l'un des éléments clés de l'étude préliminaire.

En fonction d'un besoin électrique spécifique, plus l'énergie solaire reçue est importante, moins il faut installer de panneaux solaires, et vice versa.

Le rayonnement solaire est absorbé et diffusé au sol en traversant l'atmosphère. En raison de l'atmosphère, une partie du rayonnement incident est diffusée et absorbée.

L'atmosphère modifie le rayonnement solaire en suivant des phénomènes assez complexes et principalement aléatoires.

Le flux lumineux absorbé par le sol à un moment précis est influencé par de nombreux paramètres :

Gaz dans l'air, Nuages, Albédo (réflectivité du sol), Température ambiante, Vent, Humidité relative, et ainsi de suite...

Or tous ces paramètres dépendent du lieu géographique, de la saison, de l'heure de la journée, des conditions météorologiques du moment.

Il est donc important de disposer de données fiables en recourant à des statistiques accumulées sur les années antérieures grâce à un instrument de mesure appelé « héliographe ».

Grace à cet instrument de mesure, les stations météorologiques élaborent des statistiques de rayonnement solaire intégré en $[KWh/m^2 \cdot J]$ à partir de toutes les données récoltées. Ce sont ces données, globales sur une journée, qui servent la plupart du temps au dimensionnement d'un système photovoltaïque.

2.4 Etape IV : Dimensionnement du générateur photovoltaïque :

Cette étape consiste à calculer la quantité de modules photovoltaïques que l'on devra posséder pour couvrir les besoins en électricité.

2.4.1 Puissance crête d'un générateur photovoltaïque

La puissance crête des panneaux à installer dépend de l'irradiation du lieu d'installation. On la calcule en appliquant la formule suivante : [14]

$$P_{ch} = \frac{E_c}{k \cdot I_r} \quad (3.3)$$

P_{ch}: Puissance crête de champs photovoltaïques en Watt crête (Wc)

E_c: Energie consommée par jour (Wh/jour)

I_r : Temps moyen d'ensoleillement journalier (h/jour)

En Algérie : $2 \leq I_r \leq 8$. On prend la moyenne de 5 h/Jour

K : Coefficient correcteur, ce coefficient tient compte :

- De l'incertitude météorologique.
- De l'inclinaison non corrigée des modules suivant la saison.
- Du point de fonctionnement des modules.
- Du rendement moyen charge/décharge de la batterie (90%).
- Du rendement de régulateur (95%).
- Des pertes dans les câbles et connexions pour les systèmes avec batterie.

K : est en générale compris entre 0,55 et 0,75. La valeur souvent utilisée dans les calculs du système avec batterie est $k=0,65$. [15]

2.4.2 Tension de fonctionnement du champ photovoltaïque

On choisit la tension de fonctionnement en fonction de la puissance crête du champ photovoltaïque en watt. De façon générale : [14]

Tableau 2: Tension du champ en fonction de sa puissance crête [14]

Puissance crête (W _C)	De 0 W _C à 500W _C	De 500W _C à 2000W _C	De 2000W _C à 10000W _C	Plus de 10000 W _C
Tension de champ (V)	12 V	24 V	48 V	96 V

2.5 Etape V : Nombre de panneaux photovoltaïques à utiliser :

A partir de la puissance crête des panneaux on peut déterminer le nombre de :

- Panneaux solaire nécessaires a l'installation

$$N_m = \frac{P_{ch}}{\text{Puissance crete unitaire panneau}} \quad (3.4)$$

- Le nombre de modules connectés en série sera égale :

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_n} \quad (3.5)$$

V_{ch} : tension totale du champ.

V_n : la tension délivrée par un seul panneau photovoltaïque.

- Le nombre de modules connectés en parallèles s'exprime par :

$$N_p = \frac{N_m}{N_s} \quad (3.6)$$

Avec :

N_m : nombre total de panneaux photovoltaïques

N_s: nombre de panneaux connectés en série

2.5.1 Calcul de la taille de la surface photovoltaïque

La surface du générateur photovoltaïque est l'aire occupé par des modules photovoltaïques groupés en série et en parallèle, pour satisfaire les besoins énergétiques de l'utilisateur, et la taille du générateur est calculée à partir de la surface.

$$\text{Surface} = N_{mp} \times N_{ms} \times S_m \quad (3.7)$$

Avec :

S_m: Surface du module (m²)

N_{mp} : Nombre des modules en parallèle

N_{ms} : Nombre des modules en série

2.6 Etape VI : Dimensionnement du parc de batteries :

Pour réaliser le dimensionnement des batteries, on procède de la façon suivante :

- On calcule l'énergie consommée (E_c) par les différents récepteurs.
- On détermine le nombre de jours d'autonomie nécessaires.
- On détermine la profondeur de décharge acceptable pour le type de batterie utilisé.
- On calcule la capacité (C) de la batterie en appliquant la formule ci-dessous :

$$C_{ch} = \frac{E_c \times N}{D \times U} \quad (3.8)$$

C_{ch} : capacité du champ de batterie en Ampère Heure (Ah)

E_c : énergie consommée par jour (Wh/j)

N : nombre de jour d'autonomie

D : décharge maximale admissible (0,8 pour les batteries au plomb)

U : tension de la batterie (V)

- Nombre de batteries en séries :

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_{batterie}} \quad (3.9)$$

V_{ch} : tension du champ

V_{batterie} : la tension de la batterie

- Nombre de batterie en parallèles :

$$N_p = \frac{C_{ch}}{C_{batterie}} \quad (3.10)$$

Avec :

C_{ch} : capacité totale du champ de batteries associées à toute l'installation photovoltaïque.

C_{batterie} : capacité d'une batterie.

La durée de vie d'une batterie décroît rapidement lorsque la profondeur de décharge augmente. En général, on essaie de limiter la profondeur de décharge à 50%, c'est-à-dire que l'on utilisera que la moitié de la capacité de batteries.



Figure 29 : Aperçu d'une batterie solaire

2.7 Etape VII : Dimensionnement du régulateur de charge :

Le régulateur est dimensionné d'après les paramètres suivants : tension, courant d'entrée et courant de sortie.

- **Tension nominale :**

Elle doit être celle du champ photovoltaïque.

- **Courant d'entrée I_e :**

C'est le courant de charge maximal que les modules sont susceptibles de débiter. Il doit être supporté sans problème par le régulateur. Pour estimer ce courant, le plus sûr est de prendre 1,5 fois le courant maximal. [16]

- **Courant de sortie I_s :**

L'intensité du courant de sortie du régulateur doit être supérieure à la valeur maximale que peuvent tirer les récepteurs simultanément. Elle peut être déterminée par la formule suivante : [14]

$$I_{\max} = \frac{P_{ch}}{U} \quad (3.11)$$

P_{ch} : la puissance crête du champ de photovoltaïque qui es calculé comme suit :

$$P_{ch} = P_c \times N_p \times N_s \quad (3.12)$$



Figure 30: régulateur de charge

2.8 Etape VIII : Dimensionnement de l'onduleur

Le convertisseur de courant se dimensionne en fonction de plusieurs critères :

- **La tension d'entrée :**

C'est la même que la tension des batteries ou du régulateur (12, 24 ou 48V DC).

- **La tension de sortie :**

En Algérie nous utilisons du 230 V, 50Hz.

- **La puissance nominale :**

C'est la puissance électrique que les appareils utilisent pour fonctionner de manière « normale ». La puissance nominale peut être calculée en faisant la somme des puissances des appareils électriques qui peuvent être utilisés simultanément. On doit toujours opter pour un convertisseur dont la puissance est un peu plus élevée que celle des appareils.

- **La puissance maximale :**

Il est essentiel que l'onduleur puisse fournir une puissance considérable (généralement 2 ou 3 fois la puissance nominale). Cette caractéristique est bénéfique pour les dispositifs équipés d'un moteur (réfrigérateur, micro-onde, lave-linge...), car leur consommation augmente considérablement lors du démarrage. En règle générale, si la puissance nominale a été correctement dimensionnée, la puissance maximale prévue par ces onduleurs est adéquate.

- **Le rendement :**

Une partie de l'électricité transformée est consommée par le convertisseur de courant (entre 80 et 95% de l'énergie est restituée). Il est important de contrôler ce rendement, sachant qu'un bon produit se situe autour de 90%.

En outre, de nombreux convertisseurs consomment de l'énergie même lorsqu'ils sont en veille (stand-by). Certains d'entre eux sont munis d'un système de marche/arrêt qui permet de réaliser de grandes économies dans les petites installations solaires

2.9 Etape IX : Le dimensionnement des câbles électriques solaires :

Pour assurer le transport de l'énergie des modules jusqu'au régulateur de charge, on ne peut pas utiliser n'importe quel câble électrique.

Les câbles solaires sont étudiés pour résister aux conditions liées à leur utilisation. Ils sont les seuls à pouvoir assurer une longue durée de vie (supérieure à 30 ans) tout en minimisant les pertes d'énergie.

La résistance d'un câble électrique ne dépend ni de la tension ni de l'intensité du courant qui le traverse, mais dépend de la résistivité (ρ) du matériaux utilisé (cuivre, argent, fer, ...), de la longueur du câble, de sa section, et de sa température.

Le cuivre est de loin le conducteur le plus utilisé, et sa résistivité oscille entre $16 \times 10^{-9} \Omega \cdot m$ à $0^\circ C$ et $17 \times 10^{-9} \Omega \cdot m$ à $25^\circ C$. L'équation permettant de connaître la résistance est la suivante :

$$R = \frac{\rho \times L}{S} \quad (3.13)$$

Avec :

R : la résistance en (Ω)

ρ : la résistivité en ($\Omega \cdot m$)

L : la longueur du câble en (m)

S : la section du câble s en (mm^2)



Figure 31: le câble solaire

3. Application :

Afin de mieux appréhender les étapes nécessaires pour dimensionner une installation photovoltaïque, il est suggéré de réaliser une application sur une Habitation. La figure (3.5) met en évidence les divers composants de l'installation solaire photovoltaïque qu'on envisage de calculer pour l'habitation considérée

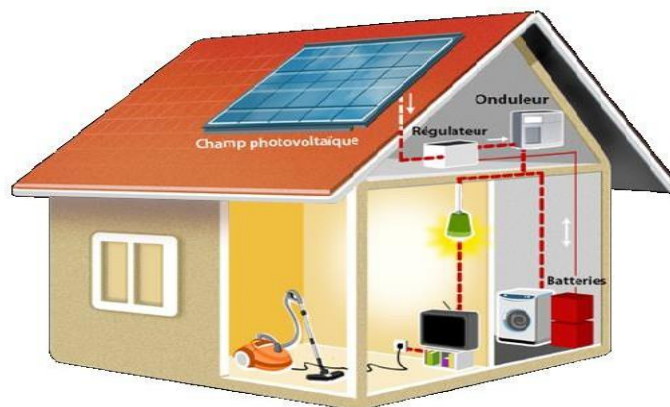


Figure 32: illustration d'une habitation équipée d'une installation photovoltaïque

Les panneaux photovoltaïques (1), disposés sur la toiture de la maison, captent les rayons solaires qu'ils transforment en électricité par effet photovoltaïque. Pour assurer un fonctionnement optimal de ces panneaux, on dispose d'un régulateur de charge (2) qui assure la charge du parc de batteries (3). Pour les équipements fonctionnant en courant alternatif (5), on utilise à cet effet, un onduleur (4) qui convertit le courant continu en courant alternatif.

3.1 Consommation énergétique (étape I) :

Tableau 3: Consommation énergétique de l'habitation

Appareil Électrique	Nombre de Charges	Puissance nominale (W)	Durée D'utilisation Journalière (H/jour)	Consommation d'énergie journalière (Wh)
Lampe	7	10	6	420
Machine à lave	1	360	2	720
App domestiques	3	100	2	600
TV/PC/Mobile	3	50	6	900
Réfrigérateur	1	400	24	400
Pompe à eau	1	135	1	135
Climatiseur	1	1100	3	3300
Total		2155		6500

Exemple :

$Ec_1 = 7 \times 10 \times 6 = 420 \text{ Wh} \dots\dots\text{etc.}$

La puissance totale de la maison est de 2155W.

La consommation énergétique journalière est de 6500Wh.

3.2 Localisation du site (étape II) :

Wilaya : Annaba

Site : à côté de l'Aéroport Rabah bitat

Latitude : 36.8309 N

Longitude : 7.8042 E

Altitude : 7 m

D'après le tableau (1) on prend l'Inclinaison comme suit :

$$\beta (^{\circ}) = \alpha + 10^{\circ}$$

Ce qui donne :

$$\beta (^{\circ}) = 36.8309^{\circ} + 10^{\circ} = 46.8309^{\circ}$$

3.3 Données métrologiques (étape III) :

En Algérie :

La durée d'ensoleillement journalière minimale est de : 5 h/jour

La durée d'ensoleillement journalière maximale est de : 8h/jour

En général on prend la minimale de : 5 h/jour

3.4 Dimensionnement du générateur photovoltaïque (étapes IV) :

En appliquant l'équation (3.3) on va calculer la puissance crête pour l'installation.

- **La puissance crête de l'installation**

Nous prenons en compte l'énergie nécessaire au fonctionnement des appareils et estimons la capacité maximale des panneaux solaires, comme suit :

$$P_c = \frac{6500}{0,65 \times 5} = 2000 W_c$$

D'après ces puissances crêtes, en se référant au tableau (3.2) on détermine la tension d'installation, il vient que :

Tableau 4: les paramètres de l'installation

La puissance crête (W_c)	2000
--	-------------

- **Caractéristiques des panneaux solaire**

Les panneaux photovoltaïques choisis sont de type polycristallin, leurs caractéristiques sont consignées dans la figure ci-dessous :

Model Number	YL250P-29b
STC Rating	250.0
PTC Rating	226.2
Open Circuit Voltage (Voc)	38.4
Short Circuit Current (Isc)	8.79
Frame Color	Silver
Origin	China
Power Tolerance (Watts)	-0 / +5
Module Efficiency	15.3%
Area (ft²)	73.2
Weight (lbs)	42.1
Length (in)	64.96
Width (in)	38.98
Height (in)	1.57

Module data

Module: Yingli Energy (China) YL250P-29b

Maximum Power (W) 250.496 Cells per module (Ncell) 60

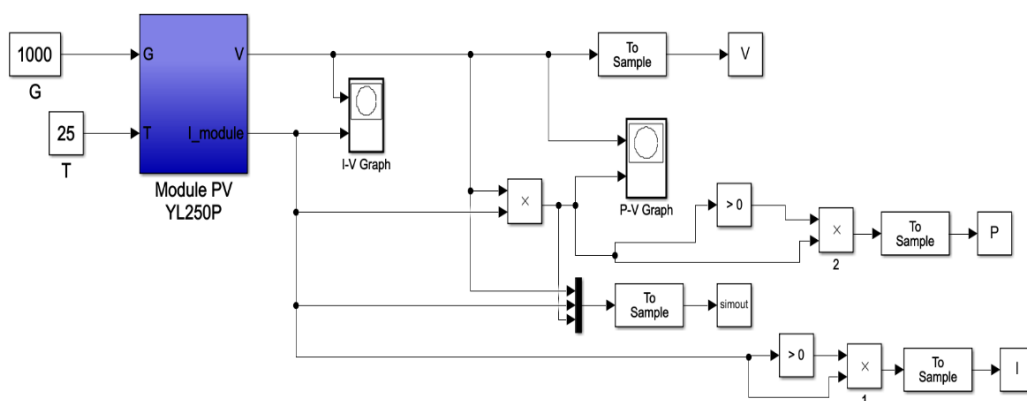
Open circuit voltage Voc (V) 38.4 Short-circuit current Isc (A) 8.79

Voltage at maximum power point Vmp (V) 30.4 Current at maximum power point Imp (A) 8.24

Temperature coefficient of Voc (%/deg.C) -0.33701 Temperature coefficient of Isc (%/deg.C) 0.0438

Figure 33: Caractéristiques techniques des panneaux photovoltaïques utilisés (Module)

- Simulation du panneau (module)**



- Les caractéristique I-V et P-V d'un panneau PV :**

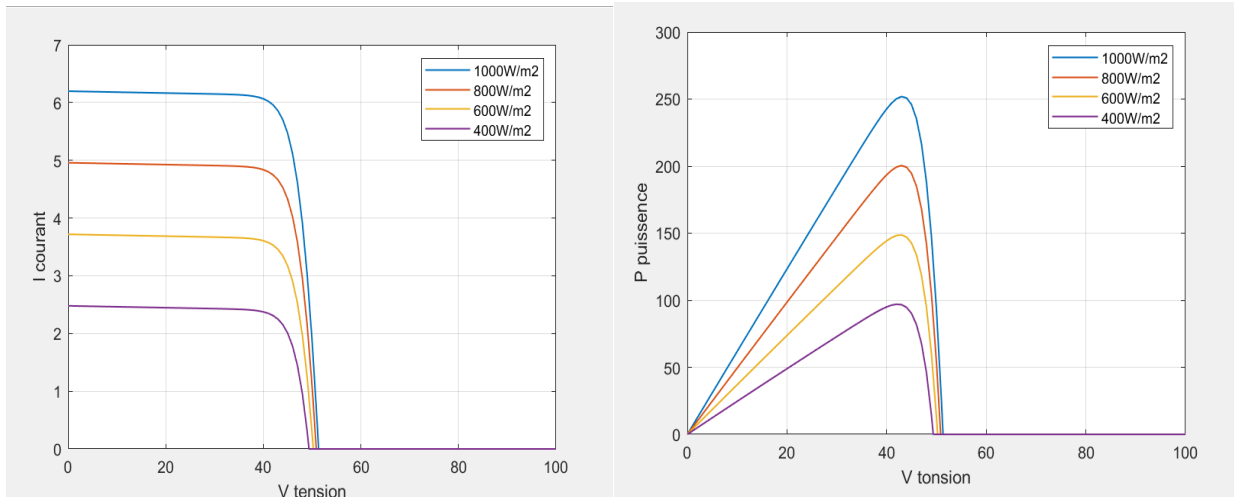


Figure 34: caractéristique I-V et P-V d'un panneau PV pour différent éclairement

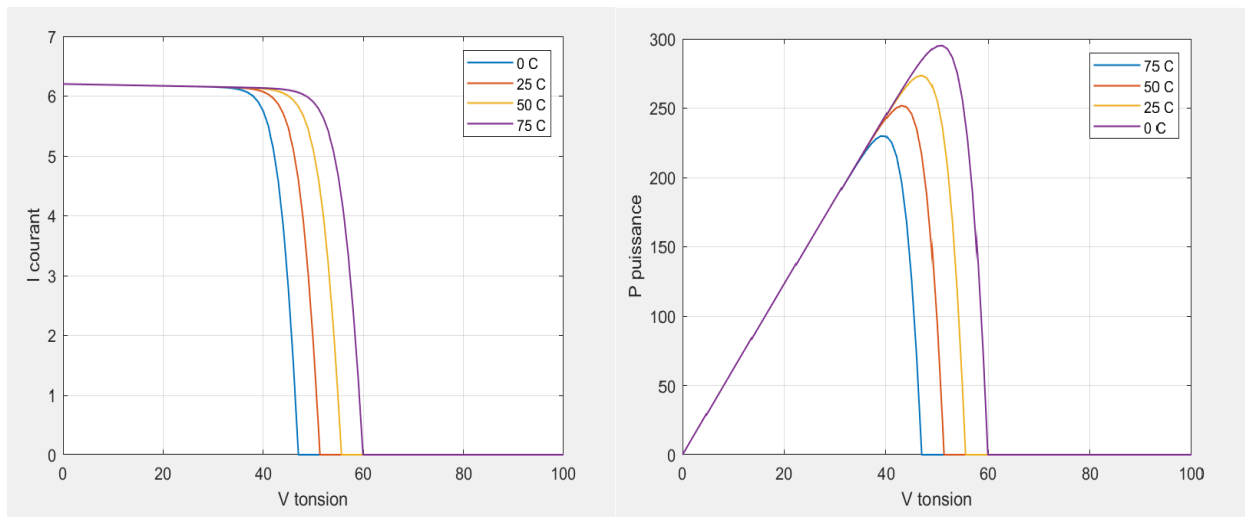


Figure 35: caractéristique I-V et P-V d'un panneau PV pour différent température

3.5 Calcul du nombre de panneaux à utiliser pour l'installation (étape IIV)

D'après les équations (3.3) le nombre de panneaux utiliser en séries et en parallèles correspond à :

- **Nombre de panneaux total à utiliser**

$$N_m = \frac{P_c}{\text{puissance crete unitaire psnneau}}$$

Ce qui donne :

$$N_m = \frac{2000}{250.496} = 7.98 = 8 \text{ panneaux}$$

Donc on utilise 8 panneaux de puissance unitaire 250 W_c.

- **Le nombre de modules connectés en série :**

$$N_s = \frac{V_{wh}}{V_n}$$

Ce qui donne :

$$N_s = \frac{48}{30.4} = 1.58 \approx 2$$

Donc on utilise 2 panneaux de 250 W_c connectés en séries.

- **Le nombre de modules connectés en parallèles :**

$$N_p = \frac{N_m}{N_s}$$

Ce qui donne :

$$N_p = \frac{8}{2} = 4$$

Donc on utilise 4 panneaux de 250 W_c connectés en parallèles.

3.5.1 Calcul de la taille de la surface photovoltaïque :

$$S_m = 73.2$$

$$ft^2 = 6.800503 \text{ m}^2$$

ft² : C'est la surface calculer pour installer les panneaux est importante pour la conception précise de systèmes PV

$$\text{Surface} = N_{mp} \times N_{ms} \times S_m = 2 \times 4 \times 6.800503 = 54.404024 \text{ m}^2$$

3.6 Dimensionnement du système de stockage (étape VI)

- **Choix des batteries et leurs capacités**

Le choix des accumulateurs en gel se résume à travers les avantages suivants :

- Entretien réduit.
- Durée de vie prolongée.
- Bonne tenue aux températures externes.
- Performance en décharge profonde.

Dans le but de prolonger la durée de vie, il faut éviter les décharges profondes et de maintenir les batteries chargées quand on les stocke.

Les batteries sont au gel, de tension $U = 12V$ et 200Ah de capacité chacune.



Figure 36: La batterie solaire à utiliser pour l'installation

A partir des équations (3-7.8.9) on va calculer le nombre total des batteries à utiliser en série et en parallèle. Pour 1 jour d'autonomie ($N=1$), tenant compte de la puissance requise au fonctionnement des appareils en courant alternatif (Tableau 5), la relation (3.9) permet d'évaluer la capacité de charge.

$$C_{ch} = \frac{E_c \times N}{D \times U}$$

Pour la batterie en gel : $U = 12V$; $C_b = 200Ah$; $D = 80\%$

Calcule C_{ch} :

$$C_{ch} = \frac{(6500 \times 1)}{0.8 \times 12} = 677,0833 \text{ Ah}$$

- **Calcul de nombre de batterie :**

$$N_{bt} = \frac{C_{ch}}{C_b}$$

$$N_{bt} = \frac{677,0833}{200} = 3,385 = 4 \text{ batteries}$$

- **Nombre de batteries en séries :**

$$N_s = \frac{V_{ch}}{V_{batterie}}$$

Ce qui donne :

$$N_s = \frac{48}{12} = 4$$

Donc on utilise 4 batteries en séries de tension 12V et de capacité 200 Ah

- **Nombre de batteries en parallèles :**

$$N_p = \frac{N_t}{N_s} = \frac{4}{4} = 1$$

- Le nombre total de batteries à utiliser pour l'installation en courant alternatif correspond alors à : 4 batteries



Figure 37: Les batteries solaires sont connectées

3.7 Choix de l'onduleur Hybride / off grid (étape VII)

Les caractéristiques de l'onduleur utilisé doivent être compatibles avec une installation ayant une tension de 48 V et une demande de puissance de 2000 W.

$$P_{\text{onduleur}} = \sqrt{P^2 + P_r^2}$$

Avec :

$$Q = P \times \frac{\sin \beta}{\cos \beta}$$

Q : puissance réactive [KVAR]

P : puissance crête du champ photovoltaïque (U.I) (Wc)

On prend : $\cos \beta = 0.8$ et $\sin \beta = 0.6$

L'angle entre la tension et le courant

Ce qui donne :

Puissance apparente

$$(S) = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

P : puissance active

Q : puissance réactive

$$Q = \frac{2000 \times 0.6}{0.8} = 1500 \text{ VAR} = 1.5 \text{ KVAR}$$

$$S = \sqrt{(2000^2 + 1.500^2)} = 2.5 \text{ KVA}$$

Donc, on utilise l'onduleur hybride

RAGGIE RG-MS5000-48

De caractéristiques suivantes :

Puissance de sortie : 5000 W.

Tensions d'entrée : 480 VDC.

Tensions de sortie : 230VAC.



Figure 38: l'onduleur a utilisé pour l'installation

3.8 Choix des câbles (étape VIII)

Dans cette partie, on donne un aperçu de calcul des câbles nécessaires à la connexion des différents panneaux photovoltaïques, quant aux autres connexions (régulateur, appareils, onduleur) elles restent tributaires des conditions de réalisation sur le site.

La chute de tension admise à travers un câble étant de 2% de la tension appliquée sur le champ de batteries de stockage, il vient que la différence de potentiel admise aux bornes d'un câble de connexion correspond à :

$$\Delta U = \text{Tension appliquée} \times 0,02$$

- Calcul de la section du câble à utiliser Pour l'installation

Tenant compte de l'intensité optimale délivrée par un panneau solaire (Figure 32), soit :

$$I_{\max} = 8,47 \text{ A}$$

Il vient que pour quatre panneaux connectés en parallèles, l'intensité totale délivrée sera :

$$I_{\max} = 8,47 \times 4 = 33,88 \text{ A}$$

$$\Delta U = 48 \times 0,02 = 0,96V$$

$$R = \frac{\Delta U}{I} = \frac{0,96}{33,88} = 0,028\Omega$$

Considérant que la longueur du câble solaire à utiliser étant égale à la largeur des quatre panneaux en parallèles, il vient que :

$$L = 0,67 \times 4 = 2,68 \text{ m}$$

Tenant compte de l'équation (3.12), la section des câbles à utiliser se déduit par :

$$S = \rho \times \frac{L}{R}$$

Ce qui donne :

$$S = 1,6 \times 10^{-8} \times \frac{2,68}{0,028}$$

$$= 1,53 \text{ mm}^2$$

En se référant au Tableau la section normalisée correspond à : 2,5 mm².

Tableau 5: Variation de la section du câble en fonction de l'intensité du courant

Section en mm ²	0,5	0,75	1	1,5	2,5	4	6	10	16
Intensité max en Ampères (A)	3	6	10	16	25	30	40	60	80

- Calcul du courant circulant entre les boîtiers et l'onduleur :**

La puissance du champ est entre 2kW et 10kW, la tension recommandée est de U = 48V. La puissance crête du champ photovoltaïque :

$$P_{cpv} = N_{pv} \times P_{max}$$

$$P_{cpv} = 8 \times 250.496 = 2003.968 = 2004W$$

$$I = \frac{2004}{48} = 41.75A$$

- Détermination de la section des conducteurs entre le boîtier de raccordement et l'onduleur :**

$$\Delta U = 48 \times 0,02 = 0,96V$$

Donc :

$$R_{max} \text{ de la ligne : } R = \frac{\Delta U}{I} = \frac{0,96}{41,75} = 0,023 \Omega$$

La section du conducteur :

$$S = \frac{\rho \times L}{R} = \frac{1,6.10^{-8}.8}{0,023} = 5,56 \text{ mm}^2 .$$

Ce qui correspond à une section normalisée de : $S = 6 \text{ mm}^2$.

- **Calcul du courant circulant entre les batteries et l'onduleur lorsque celui-ci débite sa puissance nominale :**

La puissance du champ est entre 2kW et 10kW, la tension recommandée est de $U = 48\text{V}$.

$$I_{\text{max Batterie}} = \frac{P_{\text{max onduleur}}}{U_{\text{Batterie}}}$$

$$I_{\text{max Batterie}} = \frac{5000}{48} = 104,2 \text{ A}$$

- **Détermination de la section des conducteurs entre le parc de batterie et l'onduleur :**

$$\Delta U = 48 \times 0,02 = 0,96 \text{ V}$$

$$R = \frac{\Delta U}{I} = \frac{0,96}{104,2} = 0,009 \, \Omega = 0,01 \, \Omega$$

- **La section du conducteur :**

$$S = \frac{\rho \times L}{R} = \frac{1,6.10^{-8} \times 20}{0,01} = 32 \text{ mm}^2 .$$

Ce qui correspond à une section normalisée de : $S = 35 \text{ mm}^2$.

4. Conclusion :

Ce chapitre comprend plusieurs aspects importants liés à la conception et à la mise en œuvre d'un système d'énergie solaire fonctionnant de manière autonome. Le chapitre se concentre sur les calculs et les équations nécessaires pour déterminer le nombre de modules solaires nécessaires et comment les connecter en série et en parallèle. Il couvre également les calculs de la consommation d'énergie des ménages et la détermination des exigences du système électrique.

En outre, il comprend des détails sur les appareils et équipements utilisés dans le système solaire, y compris les batteries, les transformateurs et les contrôleurs. L'accent est également mis sur les calculs des câbles électriques requis et sur la manière de choisir le bon câblage pour assurer une alimentation électrique sûre et efficace.

En résumé, le chapitre 3 explique comment concevoir et mettre en œuvre un système d'énergie solaire autonome car il fournit des informations sur les détails techniques nécessaire.

Chapitre 4

***Simulation du système PV installé et résultats
obtenue avec logiciel PVsyst***

4. Simulation du système PV installé et résultats obtenue avec logiciel PVsyst

Le PVsyst est un logiciel de simulation pour l'étude, la conception, et l'analyse des systèmes photovoltaïques. Il est largement utilisé par les ingénieurs et chercheurs dans le domaine des énergies renouvelables pour modéliser le comportement des installations solaires.

1. Introduction

Le PVsyst permet de simuler la performance d'une installation photovoltaïque en tenant compte de divers paramètres tels que la localisation géographique, l'orientation et l'inclinaison des panneaux solaires, ainsi que les données météorologiques spécifiques à un site.

2. Modélisation des systèmes PV

Le logiciel offre la possibilité de créer des modèles détaillés de systèmes PV, incluant les modules solaires, les onduleurs, et les structures de montage. Il fournit également une estimation précise de la production énergétique annuelle.

3. Analyse et optimisation

PVsyst permet d'analyser les données de simulation pour identifier les facteurs limitants la performance et propose des solutions pour optimiser le système.

4. Utilisation pratique

Les professionnels utilisent PVsyst pour dimensionner les installations solaires, effectuer des analyses économiques, et générer des rapports techniques détaillés.

Ce chapitre vise à fournir une compréhension fondamentale de PVsyst et de son rôle essentiel dans le dimensionnement et l'analyse des systèmes photovoltaïques.

2. Les étapes de dimensionnement avec logiciel PVSYST

2.1 Etape 1 : Désignation du projet

On a les Paramètres du site géographique Annaba Joannon ville

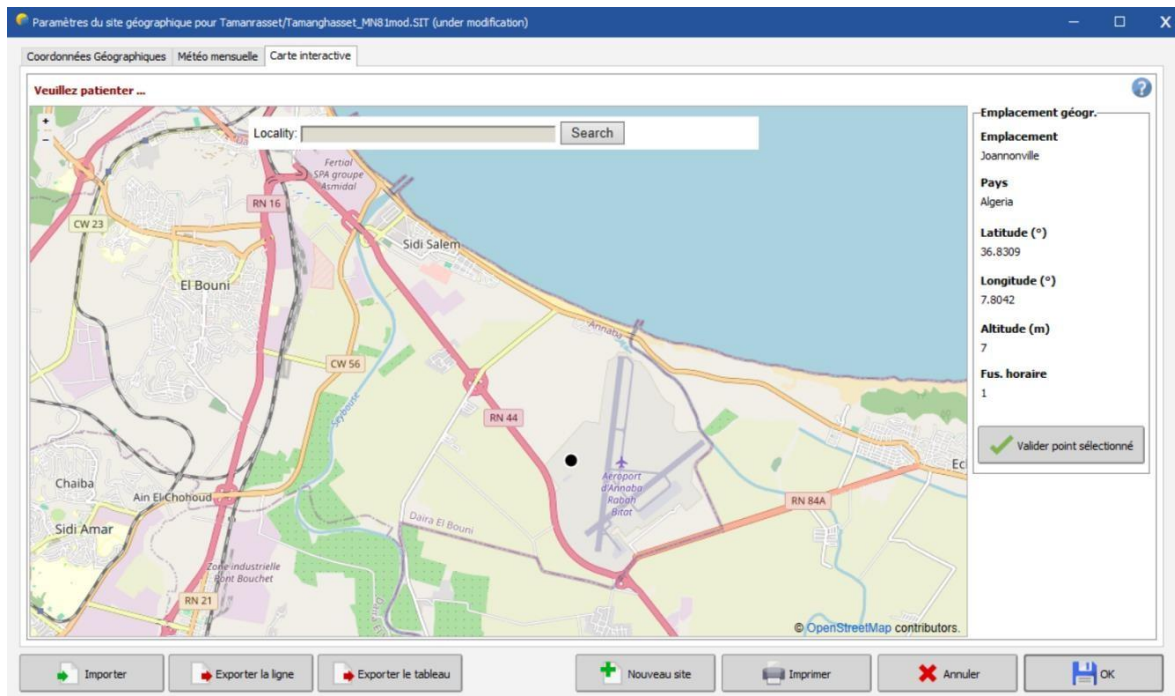


Figure 39: Paramètres du site géographique

2.2 Etape 2 : Détermination des besoins électriques :

Dans la configuration « autonome », PVSYST propose une fenêtre où nous pouvons sélectionner la consommation estimée. La quantité d'électricité utilisée et le temps d'utilisation. L'estimation de la consommation quotidienne et mensuelle moyenne est fournie par PVSYST. Pour notre étude et en se basant sur la figure. Les résultats obtenus sont les suivants :

Daily use of Energy, Variant "Nouvelle variante de simulation"

Definition of Daily Household consumptions, year

Consumptions | Hourly distribution

Daily consumptions

Number	Appliance	Power		Daily use	Hourly distrib	Daily energy
7	Lamps (LED or fluo)	10	W/lamp	6.0 h/day	OK	420 Wh
3	TV / PC / Mobile	50	W/app.	6.0 h/day	OK	900 Wh
3	Appareils domestiques	100	W/app.	2.0 h/day	OK	600 Wh
1	Frigo / Congélateur	0.40	kWh/day	24.0 h/day	OK	401 Wh
1	machina a lave	360.0	W aver.	2.0 h/day	OK	720 Wh
1	Pompe a eau	135	W/app.	1.0 h/day	OK	135 Wh
1	clima	1100	W/app.	3.0 h/day	OK	3300 Wh
Stand-by consumers		1	W tot	24 h/day		24 Wh
Total daily energy						6500 Wh/day
Total monthly energy						195.0 kWh/month

? Appliances info

Consumption definition by

☒ Year ?
☐ Seasons
☐ Months

Week-end or Weekly use

☐ Use only during
 7 days in a week

Model

Load Save

Other profile Cancel OK

Figure 40: Les besoins électriques de système

2.3 Etape 3 : Distribution horaire de la charge :

Les usages domestiques quotidiens pour l'année ont été définis.

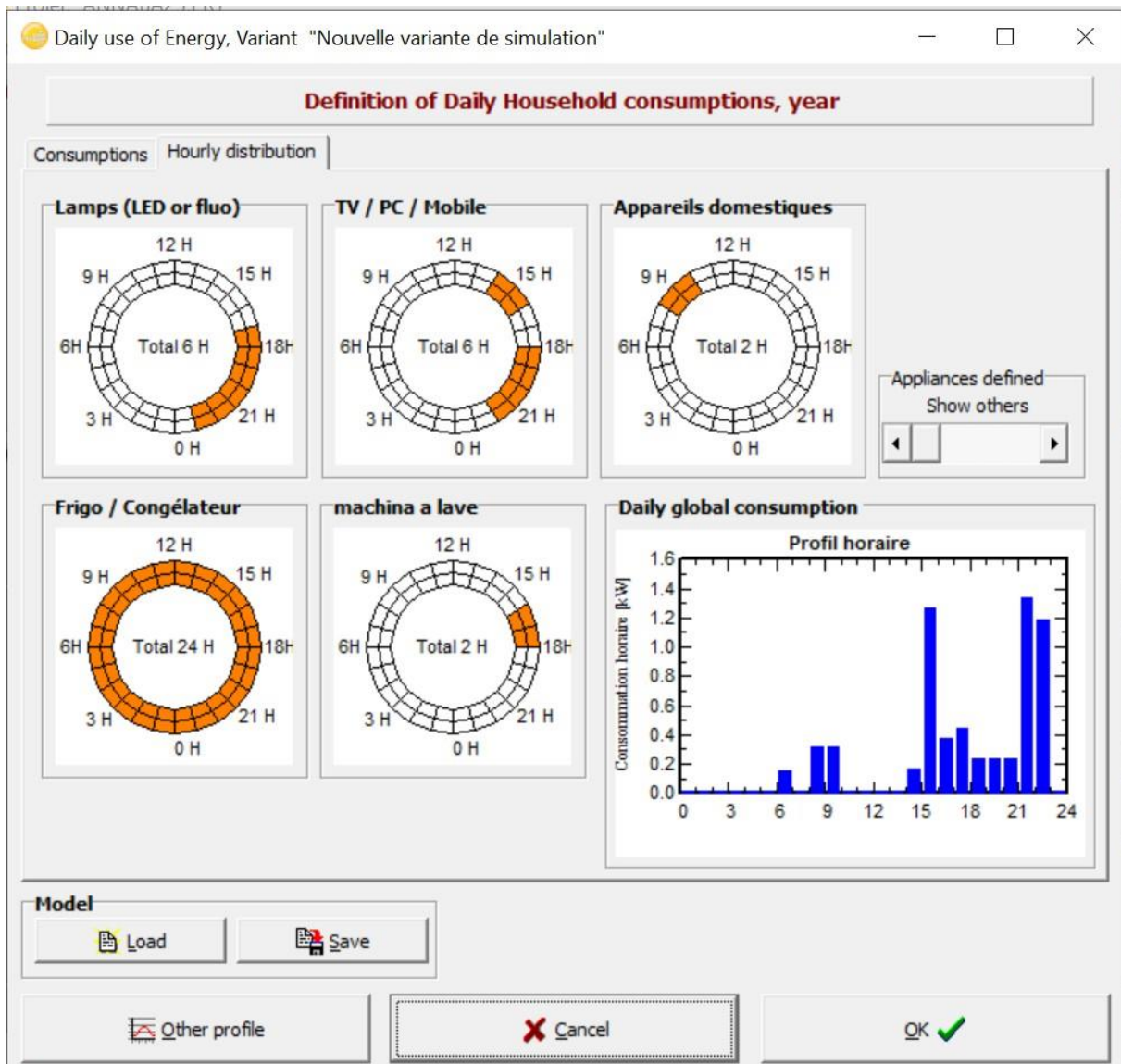


Figure 41: Distribution horaire de la charge

2.4 Etape 4 : Dimensionnement du parc de batteries :

Nous avons choisi des batteries en gel de 12V et de capacité 200 Ah
 Nombre de batteries totale 4 ,4 batteries en série et une on parallèle.

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

Besoins utilisateur spécifiés | Suggestions de pré-dimensionnement | Résumé du système

Besoins jour. moyens 6.5 kWh/jour | Déf. la PLOL acceptable 5.0 % | Déf. l'autonomie requise 4.0 jour(s) | Tension batterie (et utilis.) 48 V | Capacité conseillée 637 Ah | Puissance PV conseillée 2011 Wc (nom.)

Pré-dimens. détaillé

Stockage | Champ PV | Appoint | Schéma simplifié

Procédure

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

1. - Pré-dimensionnement Définissez les conditions de pré-dimensionnement (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 une éventuelle génératrice d'appoint.

Définissez le pack de batteries

Trier les batteries selon ☒ tension ☐ capacité ☐ fabricant

Narada | 12 V | 200 Ah | Pb Sealed Gel | MPG 12V 200 | Since 2018 | Ouvrir

Pb-acide

4 batteries en série | 1 batteries en parallèle

Nombre de batteries 4 | Nombre d'éléments 24

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

Tension du pack batteries 48 V | Capacité globale 200 Ah | Energie stockée (80% DOD) 7.7 kWh | Poids total 268 kg | Nbre de cycles à 80% DOD 1000 | Energie totale stockée durant la vie de la batterie 8784 kWh

Température batterie en opération

Mode tempér. Fixée (local tempéré)

Température fixée 25 °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 facteur 2.

Figure 42: Dimensionnement du parc de batteries.

2.5 Etape 5 : Dimensionnement du champ PV :

Différentes technologies existantes pour les modules PV ont été définies pour les usages domestiques. Ainsi, le dimensionnement du module est basé sur divers critères tels que les besoins électriques de l'installation et le choix d'une technologie qui permet de réduire au maximum le nombre de batteries sans entraîner un manque d'énergie. De cette manière, comme mentionné sur la figure (5) : pour l'année : le type de module choisi dans le cas de cette présente étude est de type : 250W 30V monocristallin, Bangkok Solar. Avec un champ PV de 8 panneaux (2 en série et 4 en parallèle) La surface du champ PV est : 16m²

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

Besoins utilisateur spécifiés Suggestions de pré-dimensionnement Résumé du système

Besoins jour. moyens Déf. la PLOL acceptable 5.0 % ? Tension batterie (et utilis.) 48 V ?
 6.5 kWh/jour Déf. l'autonomie requise 4.0 jour(s) ? Capacité conseillée 637 Ah
 Pré-dimens. détaillé Puissance PV conseillée 2037 Wc (nom.)

Stockage Champ PV Appoint Schéma simplifié

Nom et orientation du sous-champ
 Nom Champ PV
 Orient. Plan incliné fixe Inclinaison 33° Azimut 0°

Aide au dimensionnement
 Pas de prédim. Entrez Pnom désirée 2.0 kWp
 Redimens. ... ou surface disponible 16 m2

Sélection du module PV
 Tous les modules Tri modules par Puissance Technologie
 Zhejiang Wanxiang 250 Wp 30V Si-poly WXS250P Until 2015 Photon Maq. 200% Ouvrir

Modules nécessaires approx. 8 Dimens. des tensions : Vmpp (60°C) 30.0 V
 Voc (-10°C) 48.8 V

Choisissez le mode de régulation, et le régulateur
 Régulateur universel Tous les fabricants Convertisseur de puissance MPPT
 Mode d'opération
 Couplage direct
 Convertisseur MPPT
 Convertisseur DCCD
 Courants max. de charge - décharge
 MPPT 1000 W 48 V 46 A 28 A Universal controller with MPPT conve G 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 2 doit être:
 Nb. chaînes 4 Pas de contrainte entre 3 et 5
 Nbre modules 8 Surface 16 m²

Conditions de fonctionnement:
 Vmpp (60°C) 60 V
 Vmpp (20°C) 71 V
 Voc (-10°C) 98 V
 Irradiance plan 1000 W/m²
 Imp (STC) 28.9 A
 Isc (STC) 31.4 A
 Isc (at STC) 31.0 A
 Puiss. max. en fonctionnement 1.8 kW
 à 1000 W/m² et 50°C
 Puiss. nom. champ (STC) 2.0 kWp

Figure 43: Dimensionnement du champ PV

2.6 Etape 6 : Dimensionnement du convertisseur :

Nous avons choisi un convertisseur MPPT 1000W 46V (46A – 28A) Les paramètres de fonctionnement du régulateur universel seront automatiquement ajustés selon les propriétés du système. La figure (6) montre les caractéristiques électriques du convertisseur MPPT.

Choisissez le mode de régulation, et le régulateur

Régulateur universel Tous les fabricants Convertisseur de puissance MPPT
 Mode d'opération
 Couplage direct
 Convertisseur MPPT
 Convertisseur DCCD
 Courants max. de charge - décharge
 MPPT 1000 W 48 V 46 A 28 A Universal controller with MPPT conve G Ouvrir
 Les paramètres de fonctionnement du régulateur universel seront automatiquement ajustés selon les propriétés du système.

Figure 44: Dimensionnement du convertisseur

2.7 Etape 7 : Orientation des panneaux :

Afin d'évaluer les angles d'inclinaison idéaux pour les modules photovoltaïques dans cette région afin d'améliorer le gain énergétique, nous avons choisi une inclinaison de 34° et un azimut de 0° .

Évolution par rapport à l'exposition annuelle à l'irradiation

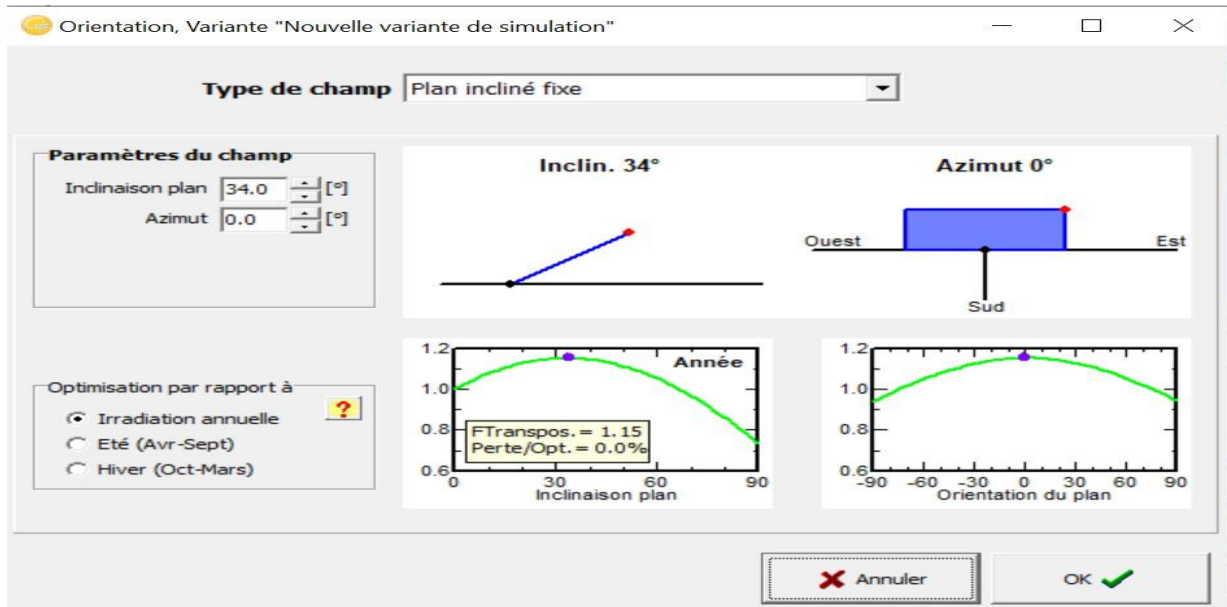


Figure 45: Orientation des panneaux.

2.8 Etape 8 : Rapport de La simulation :

En fin nous avons lancé la simulation pour avoir le rapport des résultats (on va discuter les résultats dans le chapitre IV)

PVSYST V6.88			18/06/24	Page 1/5
Système isolé: Paramètres de simulation				
Projet : ANNABA23				
Site géographique	Joannonville	Pays	Algeria	
Situation	Latitude	36.83° N	Longitude	7.80° E
Temps défini comme	Temps légal	Fus. horaire TU+1	Altitude	7 m
	Albédo	0.20		
Données météo:	Joannonville	PVGIS api TMY - TMY		
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation				
	Date de la simulation	18/06/24 à 21h58		
Paramètres de simulation	Type de système	Système isolé avec batteries		
Orientation plan capteurs	Inclinaison	34°	Azimut	0°
Modèles utilisés	Transposition	Perez	Diffus	Importé
Besoins de l'utilisateur :	Consomm. domestique moyenne	Constants sur l'année 6.5 kWh/Jour		
Caractéristiques du champ de capteurs				
Module PV	Si-poly	Modèle	WXS250P	
Base de données PVsyst originale		Fabricant	Zhejiang Wanxiang	
Nombre de modules PV		En série	2 modules	En parallèle 4 chaînes
Nombre total de modules PV		Nbre modules	8	Puissance unitaire 250 Wc
Puissance globale du champ		Nominale (STC)	2000 Wc	Aux cond. de fonct. 1812 Wc (50°C)
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C)		U mpp	63 V	I mpp 29 A
Surface totale		Surface modules	15.5 m²	
Paramètres du système	Type de système	Système isolé		
Batterie	Modèle	MPG 12V 200		
	Fabricant	Narada		
Caractéristiques du banc de batteries	Nombre d'unités	4 en série		
	Tension	48 V	Capacité nominale	200 Ah
	Décharge: min. SOC	20.0 %	Energie stockée	7.9 kWh
	Température	Fixée (20°C)		
Régulateur	Modèle	Universal controller with MPPT converter		
	Technologie	MPPT converter	Coeff. de temp.	-5.0 mV/°C/elem.
Convertisseur	Efficacité maxi et EURO	97.0 / 95.0 %		
Seuils de régulation batterie	Seuils de commande selon	SOC calculation		
	Charge	SOC = 0.92 / 0.75	i.e. approx.	55.5 / 50.7 V
	Décharge	SOC = 0.20 / 0.45	i.e. approx.	47.1 / 49.1 V
Facteurs de perte du champ PV				
Fact. de pertes thermiques	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (vent)	0.0 W/m²K / m/s
Perte ohmique de câblage	Rés. globale champ	36 mOhm	Frac. pertes	1.5 % aux STC
Perte diode série	Chute de tension	0.7 V	Frac. pertes	1.0 % aux STC
Perte de qualité module			Frac. pertes	3.0 %
Perte de "mismatch" modules			Frac. pertes	1.0 % au MPP
Perte de "mismatch" strings			Frac. pertes	0.10 %
Effet d'incidence, paramétrisation ASHRAE	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Param. bo	0.05

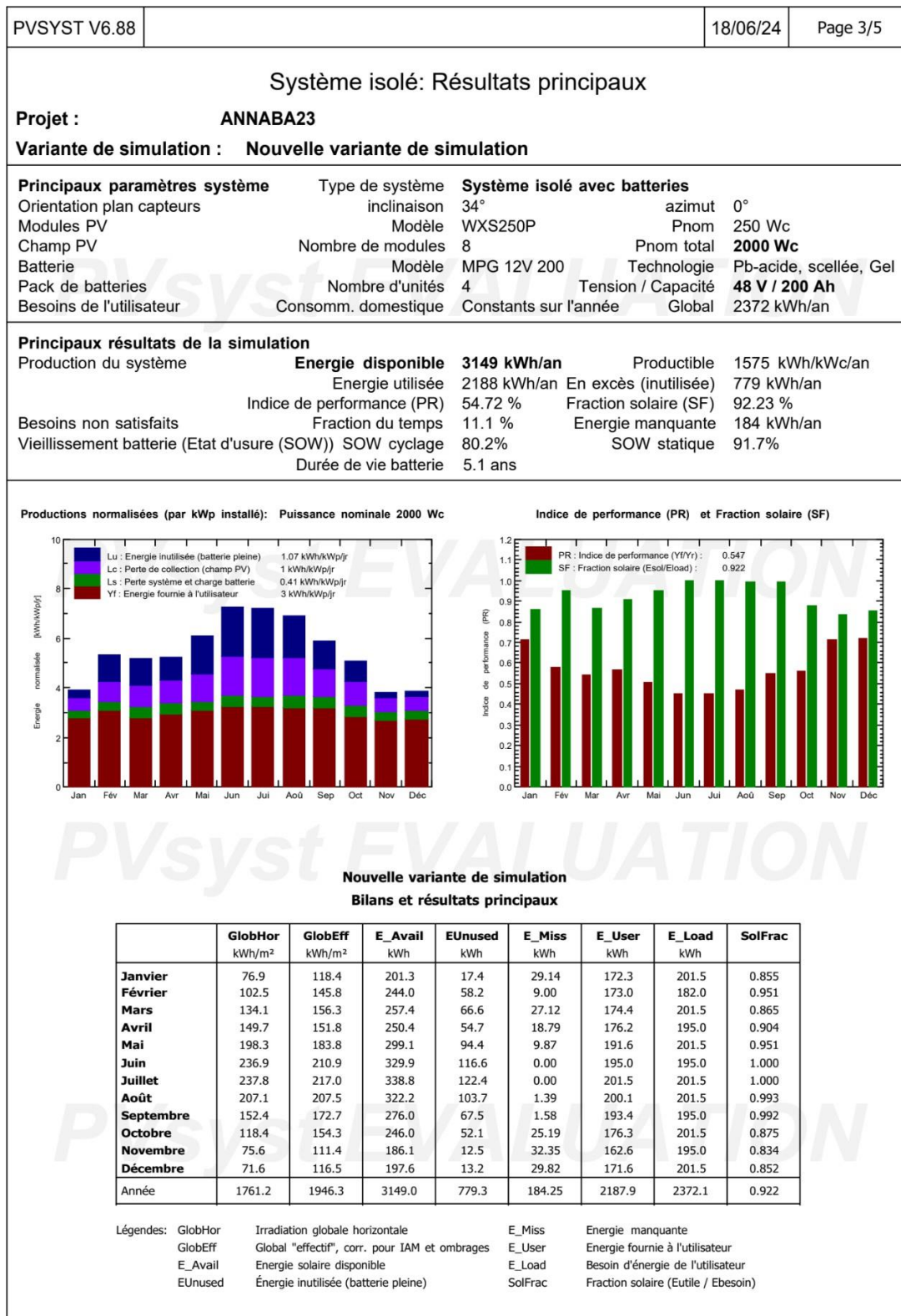
Le rapport montre les paramètres généraux de notre installation photovoltaïque autonome qui sont :

- Le type de système photovoltaïque, dans notre cas c'est le système isolé avec batterie.
- Les caractéristiques des modules photovoltaïques dans notre projet.
- Le nombre des panneaux en série et en parallèle.
- L'énergie stockée

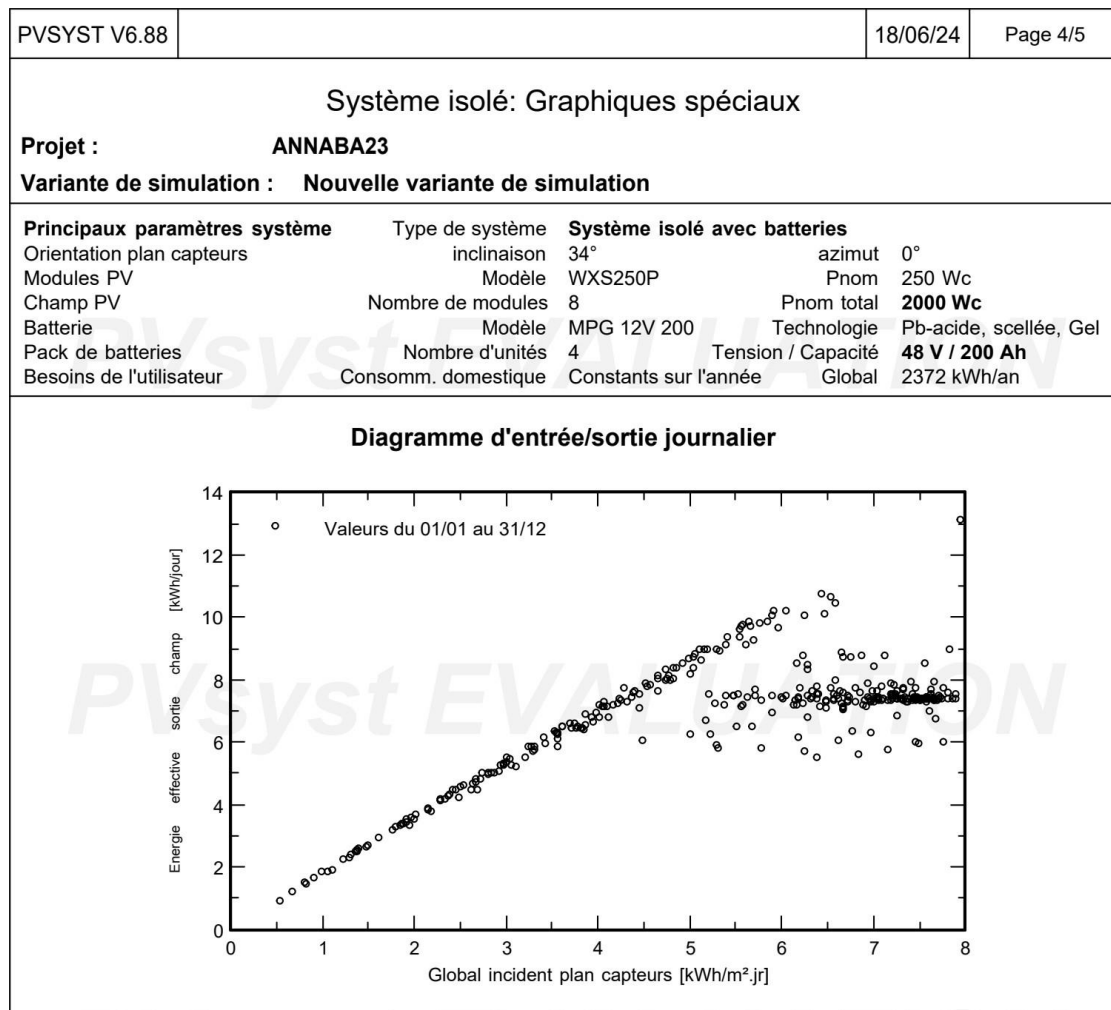
- Parc des batteries, voltage
- Type de régulateur et convertisseur (MPPT).
- Nous pouvons voir aussi les différentes pertes comme :
- Les pertes de câblages.
- Pertes thermiques.
- Pertes d'inadéquation des modules.
- Pertes de qualité des modules

PVSYST V6.88		18/06/24	Page 2/5
Système isolé: Besoins de l'utilisateur			
Projet : ANNABA23			
Variante de simulation : Nouvelle variante de simulation			
Principaux paramètres système	Type de système	Système isolé avec batteries	
Orientation plan capteurs	inclinaison	34°	azimut 0°
Modules PV	Modèle	WXS250P	Pnom 250 Wc
Champ PV	Nombre de modules	8	Pnom total 2000 Wc
Batterie	Modèle	MPG 12V 200	Technologie Pb-acide, scellée, Gel
Pack de batteries	Nombre d'unités	4	Tension / Capacité 48 V / 200 Ah
Besoins de l'utilisateur	Consomm. domestique	Constants sur l'année	Global 2372 kWh/an
Consomm. domestique, Constants sur l'année, moyenne = 6.5 kWh/jr			
Valeurs annuelles			
	Nombre	Puissance	Utilisation
Lamps (LED or fluo)	7	10 W/lampe	6 h/jour
TV / PC / Mobile	3	50 W/app	6 h/jour
Appareils domestiques	3	100 W/app	2 h/jour
Frigo / Congélateur	1		24 h/jour
machina a lave	1		2 h/jour
Pompe a eau	1	135 W tot	1 h/jour
clima	1	1100 W tot	3 h/jour
Consomm. de veille			24 h/jour
Energie journalière totale			6499 Wh/jour

Selon les résultats présentés dans le tableau de rapport, il est évident que l'énergie générée par le panneau photovoltaïque est en proportion de l'énergie incidente, et que le besoin énergétique du foyer est comblé tout au long de celle-ci.



PVsyst Evaluation mode



Analyse et échange :

- La production d'énergie satisfait les besoins énergétiques de l'habitation tout au long de l'année. Le fait que notre dimensionnement et notre étude aient été effectués en fonction des mois les plus défavorables (Novembre, Décembre, Janvier) explique le surplus d'énergie produite. Pendant la saison estivale, Le rayonnement solaire atteint son plein potentiel, ce qui entraîne une surproduction d'électricité d'origine photovoltaïque.

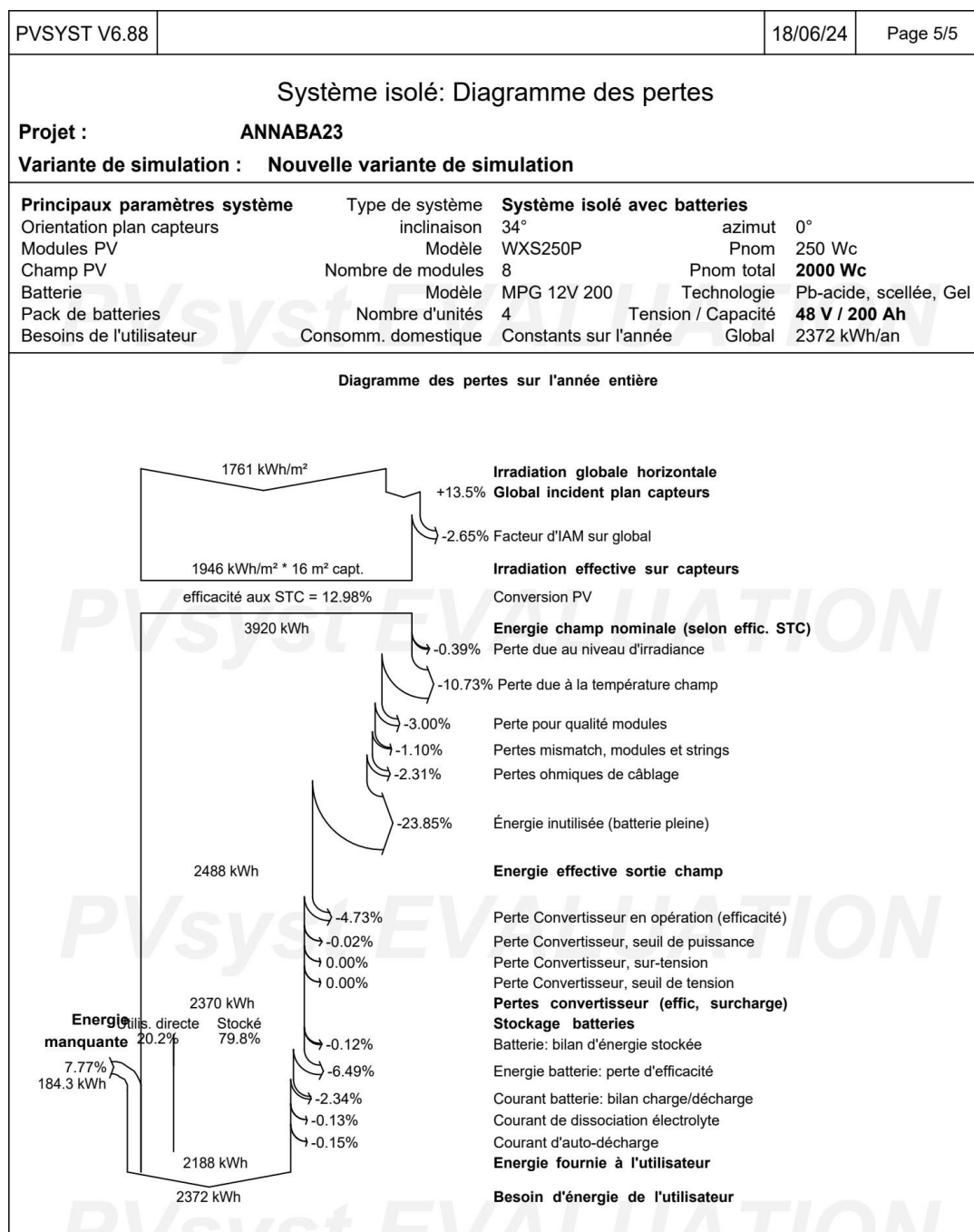


Figure 46: rapport de simulation

Le lancement de la simulation nous permet d'accéder aux différents résultats de la conception de notre système photovoltaïque.

Ainsi, à partir de la figure (8) nous constatons les différentes pertes d'énergies, résumées sous forme d'un diagramme, elles sont très importantes justifiées par le fait que le système photovoltaïque est dimensionné par rapport aux mois les plus défavorables en termes d'ensoleillement là où nous pouvons constater qu'il n'y a pas de pertes contrairement au reste des mois de l'année où l'ensoleillement est plus élevé dans la figure (8) :

- Pertes champs (Température, qualité des modules, résistance, etc).

- Pertes convertisseur globales.
- Pertes système de stockage
- Le besoin d'utilisation : charge avec système de stockage.

Nous remarquons sur le diagramme des pertes sur l'année entière que l'irradiation globale incidente n'est pas complètement exploitable à cause des facteurs et pertes sur les différentes parties du système, on obtient une énergie totale de 2372 kWh

3. Conclusion :

L'utilisation du logiciel PVSYST nous a donné la possibilité d'analyser presque tous les éléments de l'installation photovoltaïque autonome, en détaillant les caractéristiques électriques de chaque composant.

Les résultats de la simulation du système photovoltaïque autonome avec le logiciel PVSYST ont révélé que le dimensionnement qui repose sur les trois mois d'automne et d'hiver les plus gelés et les plus énergivores (les mois où la consommation d'électricité augmente) pouvait entraîner des pertes (par rapport au surplus de production) sur les neuf mois restants. Par conséquent, il serait préférable de prévoir des solutions pour exploiter ce surplus de production. Il est possible de tirer la conclusion que nous avons la possibilité de sélectionner diverses technologies et systèmes afin de répondre aux besoins électriques d'un utilisateur, en particulier dans les zones isolées, tout en réduisant la consommation (Consommation rationnelle) et en préservant l'environnement.

Conclusion Générale

L'énergie solaire, grâce à ses systèmes photovoltaïques autonomes, représente l'une des solutions les plus performantes et durables pour faire face aux défis environnementaux et économiques liés aux sources d'énergie standard. Tout au long de cette mémoire, nous avons étudié différents aspects de cette technologie innovante, allant des fondements théoriques aux applications concrètes et aux nombreux avantages du système photovoltaïque seul.

Les différents chapitres ont traité de la transformation de l'énergie solaire en électricité grâce aux cellules solaires, ainsi que des progrès techniques qui ont amélioré cette procédure et rendu plus efficace et performante. Il est à noter que ces derniers sont la solution parfaite pour les régions éloignées et dépourvues d'accès à l'énergie.

En analysant les utilisations concrètes et économiques du système photovoltaïque autonome, nous avons prouvé comment cette technologie peut jouer un rôle important dans le développement durable, offrir une énergie renouvelable et diminuer la dépendance aux combustibles fossiles polluants. Dans ce mémoire nous avons étudié un exemple concret ensuite les analyses technicoéconomiques ont démontré la possibilité et les multiples avantages des projets solaires autonomes.

En résumé, il est primordial de continuer à mener des recherches et des études dans le domaine de l'énergie solaire et de ses diverses applications. L'avenir présente de nombreuses possibilités encourageantes pour étendre l'utilisation de l'énergie solaire, ce qui contribuera à bâtir un avenir plus respectueux de l'environnement et durable pour les générations futures. Nous souhaitons que cette mémoire ait apporté une contribution réelle et montrer l'importance de l'investissement dans l'énergie solaire comme l'une des principales solutions aux problèmes énergétiques mondiaux.

Références Bibliographique

- [1] F.Z. Zerhouni, M.Zegrar, M.Zerhouni,A.Benmessaoud, A.Boudghene stambouli, "Connexion directe source d'énergie renouvelable verte non polluante photovoltaïque à une charge", Revue des Energies Renouvelables, 2009.
 - [2] A. Oued Mohamed Yahya, A. Oued Mahmoud et I. Youm Centre de Recherche Appliquée aux Energies Renouvelables 'CRAER', Université de Nouakchott, Mauritanie, Dakar, Sénégal, accepté le 30 Septembre 2008.
 - [3] Licence EEA Module U6 Énergie et convertisseurs d'énergie, Université de Savoie.
 - [4] L'énergie photovoltaïque Conseils et retours d'expériences en Bretagne : www.plan-eco-energie-bretagne.fr.
 - [5] Livre Energie Solaire Photovoltaïque. Anne labouret. Michel Villos. 2ème édition.
 - [6] MATALLAH Sorya « Dimensionnement et simulation d'un système photovoltaïque pour alimenter un habitat dans la wilaya d'Ouargla », Mémoire master acadimique, Université Kasdi Merbah – Ouargla, 2014/2015.
 - [7] AMARA Karima , Mémoire de Magister contribution à l'étude de conception d'une centrale photovoltaïque de puissance (IMW) interconnectée au réseau de distribution électrique moyenne tension , UMMTO 2014/2015
 - [8] Othemane BENSEDDIK, Mémoire de master « Etude et optimalisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque, Université Kasdi MERBAH ourgla ,2012
 - [9] Hankins Mark, installation solaires photovoltaïques autonomes : conception et installation d'unités non recordées au réseau, Paris :Dunod 2012
 - [10] AMARA Karima , Mémoire de Magister contribution à l'étude de conception d'une centrale photovoltaïque de puissance (IMW) interconnectée au réseau de distribution électrique moyenne tension , UMMTO 2014/2015
- Livre :
- [11] CHERFAOUI AZOUAOU <<SIMULATION D UN SYSTEME HYBRIDE PHOTOVOLTAIQUE EOLIENNE TOTALEMENT AUTONOME>> ING D ETAT ETH ,2010
 - [12] R. Rezoug, A. Zaatri, « Optimisation du rendement d'un système photovoltaïque parpoursuite du soleil », Revue des Energies Renouvelables 12, 299 – 306, 2009.
 - [13] S. Brigand, « Les principes de l'énergie solaire photovoltaïque », complément technique, Techniques de construction, www.editiondumoniteur.com,Mars-Avril 2008.
 - [14] A. Labouret, M. Villos, « Energie solaire photovoltaïque », 3 eme édition, Edition Dunod 2005.
 - [15] A. Ricaud, « Modules et systèmes photovoltaïques », Septembre 2008.

[16] M. J. T. Nkouimi, « Outil d'aide au dimensionnement des systèmes photovoltaïques domestiques », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé, © Mémoire Online 2000-2010.

ANNEXE



- Quelques photos des panneaux solaires et de l'onduleur hybride qui sont ensuite installés et sur leur base, nous appuyons sur eux pour calculer.

Liste Des Tableaux

Tableau 1: montre la corrélation entre la latitude et l'inclinaison des panneaux pour une utilisation annuelle.[13]	36
Tableau 2: Tension du champ en fonction de sa puissance crête [14]	39
Tableau 3: Consommation énergétique de l'habitation	45
Tableau 4: les paramètres de l'installation	46
Tableau 5: Variation de la section du câble en fonction de l'intensité du courant.....	53

Liste Des Figures

Figure 1: Carte du monde d'ensoleillement moyen annuel	5
Figure 2: Les composantes du rayonnement solaire	6
Figure 3: Rayonnement solaire et la masse d'air	7
Figure 4: Les coordonnées Terrestre's	8
Figure 5: Le principe la cellule photovoltaïque.....	9
Figure 6: Collision entre un photon et un atome	10
Figure 7: Représentation schématique d'une cellule solaire.....	10
Figure 8: les différents types des panneaux photovoltaïques.....	11
Figure 9: Schéma équivalent d'une cellule PV avec une seule diode	12
Figure 10: Caractéristique I(V) et P(V) d'une cellule photovoltaïque à une seule diode	13
Figure 11: Schéma équivalent du modèle à deux exponentielles.....	13
Figure 12: Caractéristique I(V) et P(V) d'une cellule photovoltaïque avec deux diodes	14
Figure 13: Constitution d'un module PV	16
Figure 14: Encapsulation des cellules	17
Figure 15: Caractéristiques résultantes d'un groupement de cellules en séries (Ns)	18
Figure 16: Caractéristiques d'un groupement de cellules en parallèle (Np)	19
Figure 17: (a) Architecture classique d'un panneau solaire photovoltaïque avec diodes de protections. (b) Défaillance d'une des cellules du module PV et activation de diode de circulation I_{pv}	20
Figure 18: caractéristique (I_{pv} - V_{pv}) sous l'effet de l'ombrage d'un panneau photovoltaïque et effet d'une des (60) cellules qui composent le module PV	20
Figure 19: Caractéristique I(V) d'un module photovoltaïque	21
Figure 20: Extrait d'une fiche technique	22
Figure 21: Courbe de rendement d'un régulateur MLI avec fonction MPPT.....	26
Figure 22: accumulateur électrochimique	27
Figure 23: Structure d'une batterie acide-plomb classique.....	29
Figure 24: Composition de la batterie acide-plomb	29
Figure 25: Composition batterie plomb au gel	30
Figure 26: Phénomène de la sulfatation.....	30

Figure 27: Système de raccordement d'une installation	32
Figure 28: Définition des angles pour un plan incliné : inclinaison β , azimut χ et l'angle d'incidence α . [12].....	36
Figure 29 : Aperçu d'une batterie solaire	41
Figure 30: régulateur de charge	42
Figure 31: le câble solaire.....	44
Figure 32: illustration d'une habitation équipée d'une installation photovoltaïque	44
Figure 33: Caractéristiques techniques des panneaux photovoltaïques utilisés (Module)....	47
Figure 34: caractéristique I-V et P-V d'un panneau PV pour différent éclairement.....	48
Figure 35: caractéristique I-V et P-V d'un panneau PV pour différent température	48
Figure 36: La batterie solaire à utiliser pour l'installation	50
Figure 37: Les batteries solaires sont connectées	51
Figure 38: l'onduleur a utilisé pour l'installation.....	52
Figure 39: Paramètres du site géographique	57
Figure 40: Les besoins électriques de système	58
Figure 41: Distribution horaire de la charge	59
Figure 42: Dimensionnement du parc de batteries.....	60
Figure 43: Dimensionnement du champ PV	61
Figure 44: Dimensionnement du convertisseur.....	61
Figure 45: Orientation des panneaux.	62
Figure 46: rapport de simulation	67

Liste Des Abréviations

PV : Photovoltaïque
Si : Silicium
GPV : Générateur Photovoltaïque
PPM : Point de Puissance Maximum
FF : Facteur de Forme
MPPT : Maximum Power Point Tracker
CC : Courant Continu
CA : Courant Alternatif
CO : Circuit Ouvert
I_{cc} : Le courant de court-circuit A
 η : Rendement des modules photovoltaïque %
P : Résistivité $\Omega.m$
L : Longueur du câble m
A : Azimut de soleil Degré
 φ : Latitude Degré
 β : Inclinaison Degré
 δ : Déclinaison Degré
Si : Silicium
PV : Photovoltaïque
K : Coefficient correcteur
L : Longitude Degré
N_m : Nombre de modules photovoltaïques
N_s : Nombre de modules PV connectés en séries
N_P : Nombre de modules PV connectés en parallèles
C : Capacité de la batterie Ah
H : Hauteur de soleil Degré
Pr : Puissance réactive VAR
R : Résistance Ω
S : Section du câble mm².