

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ DE SAAD DAHLEB BLIDA 1
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DES ENERGIES
RENOUVELABLES



Par : - AMARI Ghiles

- BENCHENINA Yacine

Mémoire

**Presenté pour l'obtention de diplôme de
Master en Énergies Renouvelables**
Option : CONVERSION PHOTOVOLTAÏQUE

Thème :

***Critères de choix des composants
photovoltaïques pour application en Algérie***

Soutenu le : 13 / 07 /2021

Soutenu devant le jury composé par :

Mr. DOUMAZ Toufik	M.A.A	USDB	Président
Mr. BOUZAKI.Med.Moustafa	M.C.B	USDB	Encadreur
Mr. BENAHMED.Abdelmoumene	M.C.B	USDB	Examineur

Septembre 2021

ملخص :

نقدم في هذا العمل عموميات حول الطاقة الشمسية ومكونات وأنواع المكونات الكهروضوئية، ومقارنة الأوراق الفنية للمكونات الكهروضوئية من مختلف العلامات التجارية المتوفرة في الجزائر والأنظمة الكهروضوئية، وبالتالي، تحليل المواصفات الفعلية للمنشآت الأنظمة الكهروضوئية المنفذة بالفعل، في نهاية، تحديد معايير اختيار المكونات الكهروضوئية (الألواح، المنظم، إلخ).

الكلمات المفتاحية: الطاقة الكهروضوئية، المعايير، المواصفات، المكونات، اللوح الفني، النظام الكهروضوئي.

Résumé :

Nous présentons dans ce travail des généralités sur l'énergie solaire, les composants photovoltaïques et leurs différents types, comparons des fiches techniques des composants photovoltaïques de différentes marque disponibles en Algérie et les systèmes photovoltaïques, Aussi, nous avons analysé des cahiers de charge réels des installations photovoltaïques déjà réalisées afin de définir les critères de choix des composants photovoltaïques (Panneaux, Régulateur ,.....).

Mots Clés : photovoltaïque, critères, Cahier de charge, Composant, fiche technique, système photovoltaïques.

Abstract:

We present in this work generalities on solar energy, components and types of photovoltaic components, compare technical sheets of photovoltaic components of different brands available in Algeria and photovoltaic systems, Thus, Analyze actual specifications of installations photovoltaic systems already carried out, At the end, we Define the criteria for choosing the photovoltaic components (Panels, Regulator, etc.).

Keywords: photovoltaic, criteria, Specifications, Component, technical sheet, photovoltaic system

Remerciements

AVANT TOUS, NOUS REMERCIONS EN PREMIER LIEU NOTRE DIEU DE NOUS DONNER LA SANTÉ ET LA PATIENCE POUR AVOIR TERMINÉ CE TRAVAIL.

NOUS REMERCIERONS TRÈS VIVEMENT DR.BOUZAKI ET MR.DOUMAZ, ILS NOUS ONT GUIDÉS ET CONSEILLÉS TOUT AU LONG DE CE PROJET.

NOUS ADRESSONS NOS CHALEUREUX REMERCIEMENTS QUI VONT ÉGALEMENT AUX MEMBRES DU JURY, MR.DOUMAZ TOUFIK, MR. BOUZAKI.MED.MOUSTAFA ET MR. BENAHMED.ABDELMOUMENE, QUI ONT ACCEPTÉ D'ÉVALUER CE TRAVAIL ET CE MÉMOIRE.

NOS VIFS REMERCIEMENTS VONT ÉGALEMENT À TOUS CEUX QUI ONT PARTICIPÉ DE PRÈS OU DE LOIN À L'ÉLABORATION DE CE TRAVAIL.

Dédicaces

*Avec l'aide de DIEU tout puissant, j'ai pu achever ce
modeste Travail que je dédie :*

*A mes très chers parents en reconnaissance de leurs divers
Sacrifices, de leurs précieux conseils et de leur soutien moral.*

A ma grande mère et mes chers frères 'Mehani', 'Bilal

Et Mohamed' et mes trois sœurs.

A mes oncles 'Zitouni', 'Ibrahim' et 'Hamid'

A toute la famille paternelle et maternelle.

A mes amis Ilyes, Hamza, Bakhti, Ismail

Dahmane, Mourad, Abd elsalam et Mohamed.

A ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration

De ce travail.

BENCHENINA Yacine...

Dédicaces

Je dédie ce projet :

A ma chère mère,

A mon cher père,

Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A ma chère Famille

Pour leurs soutiens moraux et leurs conseils précieux tout au long de mes études.

A mon Chère Clan « slp »

A mes chers ami(e)s

Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles.

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

AMARI Ghiles ...

Nomenclature- Symboles-Acronymes

GES: Gaz à Effet de Serre

PV: Photovoltaïque

CDTE: La tellurure de cadmium

CIGS : La chalcogénure de cuivre d'indium / gallium

CIS : Le sélénite d'indium de cuivre

PWM : Pulse Width Modulation

CDER: Le centre de développement des énergies renouvelables

MPPT: Maximum Power Point Tracking

AGM: Absorbed Glass Mat

MOSFET: Metal–Oxide–Semiconductor Field-Effect Transistor

IGBT: Insulated-Gate Bipolar Transistor

GES: Gaz à Effet de Serre

PV: Photovoltaïque

SPV : système photovoltaïque

CdTe: tellurure de cadmium

CIGS : séléniure de cuivre et d'indium / gallium

CIS : séléniure de cuivre et d'indium

PWM : Pulse Width Modulation

CDER: Le centre de développement des énergies renouvelables

MPPT: Maximum Power Point Tracking

AGM: Absorbed Glass Mat

MOSFET: Metal–Oxide–Semiconductor Field-Effect Transistor

IGBT: Insulated-Gate Bipolar Transistor

STC: Conditions Standards de Test

NOCT: Normal Operating Cell Temperature

AM: Masse d'air

LED: Diode électroluminescente

DC : Courant continu

AC : Courant alternatif

Ah : Ampère heure

°C : Degré Celsius

P : Puissance

I : Intensité

A : Ampère

Voc : Tension à vide

W: Watt

Kg: Kilogramme

Mm: Millimètre

DQE: Devis Quantitatif et et Estimatif

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE 1 : SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE.....	3
1 Introduction :	3
2 Généralité sur systèmes photovoltaïque :	3
3 Fondamentaux de l'énergie solaire :	5
4 Les Composants des systèmes photovoltaïques :	7
4.1 Cellule solaire photovoltaïque :	7
4.2 Modules photovoltaïques :	8
4.3 Régulateur de charge :	9
4.4 BATTERIE SOLAIRE :	12
4.5 ONDULEUR :	16
5 TYPES DES SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUE :.....	17
5.1 SYSTEME SOLAIRE CONNECTE AU RESEAU :.....	18
5.2 SYSTEME SOLAIRE HORS RESEAU :.....	19
5.3 SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE SOLAIRE HYBRIDE :.....	21
5.4 LE POMPAGE SOLAIRE	22
6 CONCLUSION :.....	24
CHAPITRE 2 : ETUDE ET ANALYSE DES COMPOSANTS DES SYSTEM PHOTOVOLTAÏQUE.....	26
1 INTRODUCTION.....	26
2 PANNEAU SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE :.....	26
2.1 PANNEAU MONOCRISTALLIN	26
2.2 PANNEAU POLYCRISTALLIN :	28
2.3 PANNEAU CdTe:.....	30
2.4 PANNEAU AMORPHE :.....	31
3 ONDULEUR.....	32
3.1 ONDULEUR AUTONOME.....	32
3.2 ONDULEUR HYBRIDE	33
3.3 ONDULEUR CONNECTE AU RESEAU	34
4 REGULATEUR DE CHARGE :.....	35
4.1 REGULATEUR DE CHARGE PWM :	35
4.2 REGULATEUR DE CHARGE MPPT :	36
5 BATTERIES :.....	37
5.1 BATTERIES AGM :.....	37
5.2 BATTERIES GEL :.....	39
5.3 BATTERIES LITHIUM :.....	40
6 EFFET DE L'HUMIDITE SUR LA PERFORMANCE PV	41
6.1 POLYCRISTALLIN :	42
6.2 SILICIUM AMORPHE :.....	43
6.3 MONOCRISTALLIN :	43
7 CONCLUSIONS	45

CHAPITRE 3 : LES CRITERES DE CHOIX DES COMPENSANTS PHOTOVOLTAÏQUES DISPONIBLES EN ALGERIE	47
1 INTRODUCTION :.....	47
2 ÉTUDE DE CAS :.....	47
2.1 CAHIER DE CHARGE 1 :	47
2.2 CAHIER DE CHARGE 2 :	49
2.3 CAHIER DE CHARGE 3 :	52
3 CRITERES DE CHOIX DES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUE :.....	55
3.1 LE RENDEMENT :.....	55
3.2 LA PUISSANCE :.....	55
3.3 LA TEMPERATURE :.....	55
3.4 L'HUMIDITE :	56
4 CRITERES DE CHOIX DE REGULATEUR DE CHARGE :.....	56
5 CERITES DE CHOIX DES BATTERIES :.....	56
6 CRITERE DE CHOIX DE L'ONDULEUR :.....	56
7 CONCLUSION :.....	57
CONCLUSION GENERALE :	58

Liste des figures

Chapitre 1

FIGURE 1- 1 : SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE AUTONOME.....	4
FIGURE 1- 2 : SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE RELIE AU RESEAU	5
FIGURE 1- 3 : GEOMETRIE SOLEIL-TERRE	5
FIGURE 1- 4 : CARTE DE LATITUDE ET LONGITUDE.....	6
FIGURE 1- 5 : CARTE D'IRRADIANCE SOLAIRE.....	6
FIGURE 1- 6 : LES TYPES DES CELLULES PHOTOVOLTAIQUES.....	7
FIGURE 1- 7 : LES TYPES DES MODULES PHOTOVOLTAIQUES.....	9
FIGURE 1- 8 : SCHEMA DE MONTAGE DU REGULATEUR	9
FIGURE 1- 9 : REGULATEUR PWM.....	10
FIGURE 1- 10 : ETAPES DE CHARGE DU BATTERIE SOLAIRE.....	10
FIGURE 1- 11 : GRAPHE DE RENDEMENT DE PUISSANCE MPPT	11
FIGURE 1- 12 : REGULATEUR MPPT	11
FIGURE 1- 13 : LA BATTERIE AGM.....	13
FIGURE 1- 14 : LA BATTERIE GEL	13
FIGURE 1- 15 : LA BATTERIE LITHIUM	14
FIGURE 1- 16 : ONDULEUR	16
FIGURE 1- 17 : PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'ONDULEUR	17
FIGURE 1- 18 : LE ROLE D'ONDULEUR	17
FIGURE 1- 19 : TYPES DES SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUE	17
FIGURE 1- 20 : SYSTEME SOLAIRE CONNECTE AU RESEAU	18
FIGURE 1- 21 : SCHEMA DU SYSTEME CONNECTE AU RESEAU.....	19
FIGURE 1- 22 : SCHEMA DU SYSTEME HORS RESEAU.....	20
FIGURE 1- 23 : SCHEMA D'UNE INSTALLATION AUTONOME	20
FIGURE 1- 24 : SCHEMA DU SYSTEME HYBRIDE	21
FIGURE 1- 25 : SCHEMA D'UNE INSTALLATION HYBRIDE	22
FIGURE 1- 26 : TYPES DU POMPAGE SOLAIRE.....	23

Chapitre 2

FIGURE 2-1 : HUMIDITE RELATIVE PAR RAPPORT AU COURANT, A LA TENSION, A LA PUISSANCE ET AU RENDEMENT POUR LE PV POLY CRISTALLIN.	42
FIGURE 2-2 : HUMIDITE RELATIVE PAR RAPPORT AU COURANT, A LA TENSION, A LA PUISSANCE ET AU RENDEMENT POUR LE SILICIUM AMORPHE PV.....	43
FIGURE 2-3 : HUMIDITE RELATIVE PAR RAPPORT AU COURANT, A LA TENSION, A LA PUISSANCE ET AU RENDEMENT POUR LE PV MONOCRISTALLIN.	44
FIGURE 2-4 : HUMIDITE RELATIVE PAR RAPPORT AU RENDEMENT POUR LES PV AMORPHES, POLY CRISTALLINS ET MONOCRISTALLINS.....	44

Chapitre 3

FIGURE 3-1 : CAHIER DE CHARGE 1.....	47
FIGURE 3-2 : CAHIER DE CHARGE 2.....	49
FIGURE 3-3 : CAHIER DE CHARGE 3.....	52

Liste des tableaux

Chapitre 1

Tableau 1-1 : Les Types des cellules photovoltaïques	8
Tableau 1-2 : Comparaison entre régulateur PWM et MPPT.....	12
Tableau 1-3 : Types des cellules photovoltaïques.....	15

Chapitre 2

Tableau 2-1 : Comparaison des panneaux monocristallins.....	26
Tableau 2-2 : Comparaison des panneaux polycristallins.....	28
Tableau 2-3 : Comparaison des panneaux de CdTe.....	30
Tableau 2-4 : Comparaison des panneaux Amorphe.....	31
Tableau 2-5 : Comparaison des Onduleurs Autonomes.....	32
Tableau 2-6 : Comparaison des Onduleurs Hybrides.....	33
Tableau 2-7 : Comparaison des Onduleurs connectés au réseau.....	34
Tableau 2-8 : Comparaison des Régulateurs de charge PWM.....	35
Tableau 2-9 : Comparaison des Régulateurs de charge MPPT.....	36
Tableau 2-10 : Comparaison des Batteries AGM	37
Tableau 2-11 : Comparaison des Batteries Gel	39
Tableau 2-12 : Comparaison des Batteries Lithium	40
Tableau 2-13 : Comparaison des types des panum.....	42

Chapitre 3

Tableau 3-1 : Cahier de charge 1	48
Tableau 3-2 : Cahier de charge 2	50
Tableau 3-3 : Cahier de charge 3	53

Introduction générale

L'énergie est essentielle pour tous les organismes vivants sur terre et est principalement dérivé du Soleil, principale source d'énergie. Cela offre une durabilité vivre, les services essentiels tels que la cuisine, les cliniques, les transports et l'éducation, et est nécessaire à la création d'industries, d'entreprises, d'emplois et d'une meilleure économie. Le système actuel de production et de consommation d'énergie basé sur les combustibles fossiles sont pour la plupart non durables. Les problèmes environnementaux sont dus à l'émission de gaz à effet de serre (GES), qui s'ajoute au réchauffement climatique [1]. L'énergie renouvelable est le meilleur moyen rentable de surmonter les GES émission dans notre environnement [2]. L'énergie solaire est la plus propre, moins cher, durée de production élevée, applications diversifiées. L'énergie solaire voyage en petites particules appelées « photons ». Énergie solaire (photons) se transforme naturellement en trois formes d'énergie - électricité, produit chimique carburant et chaleur. La lumière visible est généralement définie comme ayant des longueurs d'onde dans la gamme de 400-700 nano mètres (nm) et la vitesse est de (2.99792458x10⁸ m/s) [1-3]. La Terre reçoit 1,9x10⁸ térawatts (TWh) par an de rayonnement solaire entrant (ensoleillement) sur le sol et l'énergie utilisé est de 1,3x10⁵ TWh/an, ce qui implique environ la moitié de l'énergie solaire entrante est utilisé [4, 5], Le processus de conversion de la lumière en l'électricité est appelée l'effet solaire photovoltaïque (PV) [6].

Depuis que l'Algérie a commencé à s'intéresser au domaine des énergies renouvelables surtout l'énergie photovoltaïque, de nombreuses entreprises et importateurs ont investi dans ce domaine sans aucune connaissance ou expérience préalable. En l'absence des bureaux de contrôles et des tests, nous commençons à voir de nombreuses erreurs catastrophiques dans les installations photovoltaïques coûtant des millions, Cela est dû au non-respect des normes d'installation et les critères de choix des composants photovoltaïques.

Dans notre travail on va Analyser des installations photovoltaïques réelles (cahier de charge) au but de définir ces critères pour un system photovoltaïque bien optimiser.

Dans le premier chapitre, on va parler sur l'énergie solaire et les composants photovoltaïque et leur fonctionnement, a fin de mentionner les types des systemes photovoltaïque.

Pour le deuxième chapitre, nous allons comparer des fiche technique des différents composants photovoltaïque, et faire l'étude technique et technico-économique, afin de choisir les composants optimaux pour nos systemes photovoltaïque.

Dans le dernier chapitre, On va analyser des cahiers de charge des installations réelles réalisés en algerie, afin de donner les criteres de choix des composants photovoltaïques en algerie.

Chapter 01

Chapitre 1 : système photovoltaïque

1.1. Introduction :

Dans ce chapitre on va présenter des généralités sur l'énergie solaire, ainsi, les composants photovoltaïques comme les panneaux, le régulateur,.....etc, et expliquer leur fonctionnement, afin de mentionner les types des systèmes photovoltaïques comme le système autonome, hybride, connecté au réseau,....etc.

1.2. Généralité sur systèmes photovoltaïque :

Un système photovoltaïque (PV) est capable de fournir de l'énergie électrique à une charge donnée en convertissant directement l'énergie solaire à travers l'effet photovoltaïque. La structure du système est très flexible. Les modules PV sont les principaux éléments de construction; Ceux-ci peuvent être agencés dans des tableaux pour augmenter la production d'énergie électrique. Un équipement normalement supplémentaire est nécessaire pour transformer l'énergie en une forme utile ou en énergie pour une utilisation future. Le système résultant sera donc déterminé par les besoins en énergie (ou les charges) dans une application particulière. Les systèmes PV peuvent être classés largement en deux groupes principaux:

System Autonome: Ces systèmes sont isolés de la grille de distribution électrique. La figure 1-1 décrit la configuration du système la plus courante. Le système décrit à la figure 1-1 est en fait l'un des plus complexes; et inclut tous les éléments nécessaires pour servir des appareils AC dans une application domestique ou commerciale commune. Un générateur supplémentaire (par exemple, bio-diesel ou vent) pourrait être considéré comme étant pour améliorer la fiabilité, mais il n'est pas nécessaire [7]. Le nombre de composants du système dépendra du type de charge qui est servi. L'onduleur pourrait être éliminé ou remplacé par un convertisseur DC à DC si seulement des charges DC doivent être alimentées par les modules PV. Il est également possible de coupler directement une matrice PV à une charge DC lorsque des méthodes de stockage alternatives sont utilisées ou lorsque des horaires de fonctionnement ne sont pas importants. Un bon exemple peut être des applications de pompage à l'eau étaient un module PV directement couplé à une pompe à courant continu, l'eau est stockée dans un réservoir à travers la journée chaque fois que l'énergie est disponible.

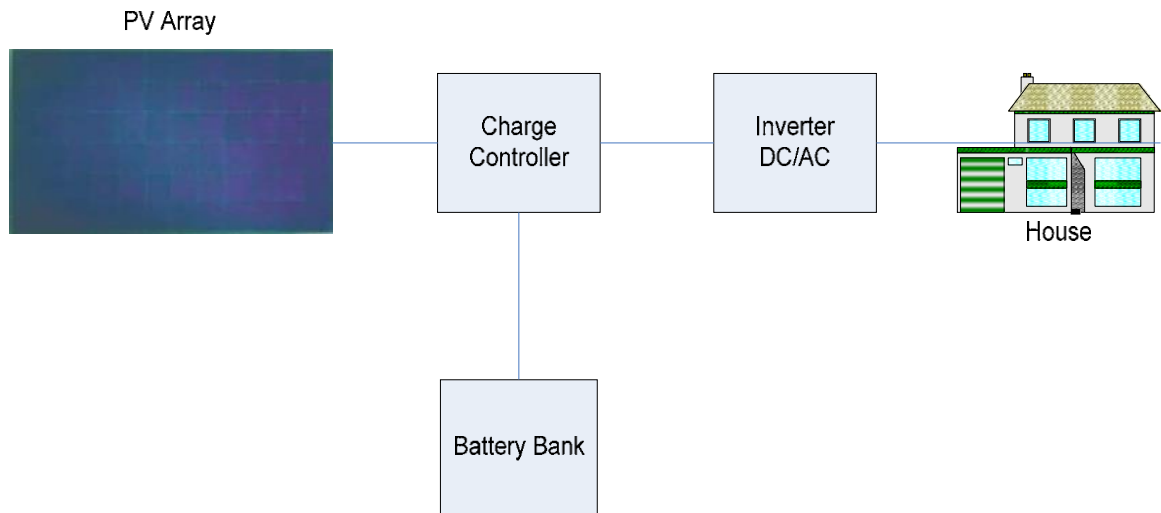


Figure 1- 1 : Système photovoltaïque autonome

Connecter au réseau: Ces systèmes sont directement couplés au réseau de distribution électrique et ne nécessitent pas de stockage de la batterie. La figure 1-2 décrit la configuration du système de base. L'énergie électrique est vendue ou achetée à partir de l'utilitaire électrique local en fonction des modèles de charge d'énergie locale et de la variation des ressources solaires pendant la journée, ce mode de fonctionnement nécessite un onduleur pour convertir les courants DC en courants AC. Il existe de nombreux avantages qui pourraient être obtenus d'utiliser des systèmes photovoltaïques liés à la grille au lieu des systèmes autonomes traditionnels. Ces avantages sont [8], [9], [10]:

- Des matrices PV plus petites peuvent fournir la même charge de manière fiable.
- Moins de solde des composants du système sont nécessaires.
- potentiel de réduction des émissions comparables tirant parti des infrastructures existantes.
- Élimine le besoin de stockage d'énergie et des coûts associés aux batteries de substitution et de recyclage des clients individuels. Le stockage peut être inclus si désiré pour améliorer la fiabilité du client.
- Provoient à l'infrastructure électrique existante.
- Utilisation efficace de l'énergie disponible. Contribue à la génération de la grille électrique requise, tandis que la demande du client est inférieure à la sortie PV.

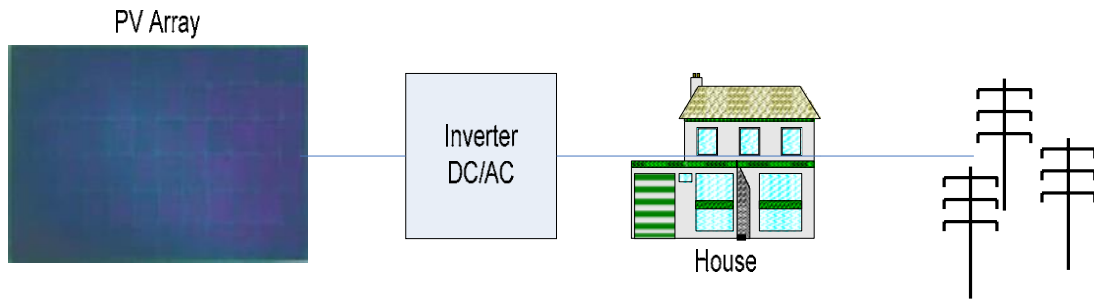


Figure 1- 2 : *Système photovoltaïque relié au réseau*

Les systèmes hybrides peuvent être possibles au stockage de la batterie ou un générateur (ou les deux) peut être associé à une connexion au réseau pour une fiabilité supplémentaire et une flexibilité de planification (à des frais supplémentaires). La plupart des systèmes installés résidentiels, commerciaux et centraux utilisent des modules solaires plats pré-fabriqués, car ils sont largement disponibles. La plupart des rapports disponibles sur les coûts du système PV sont donc liés à ce type de technologie et se concentrent sur ce chapitre.

D'autres technologies spécialisées sont disponibles (par exemple, la concentration de systèmes photovoltaïques), mais pas aussi disponibles dans le commerce en tant que module PV traditionnel.

1.3. Fondamentaux de l'énergie solaire :

La géométrie Soleil-Terre joue un rôle principal dans le processus de génération d'énergie solaire, comme le montre la figure 1. L'axe de rotation de la Terre est incliné de 23,5° par rapport au plan de son orbite autour du Soleil. La latitude est un angle qui va de 0° à l'équateur à 90° (Nord ou Sud) aux pôles [6-11]. La latitude est utilisée avec la longitude pour spécifier le système de coordonnées géographiques sur la Terre, donné dans la figure 1-3.

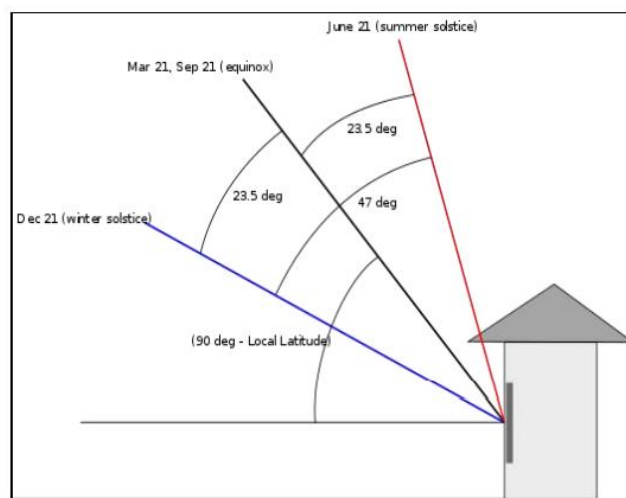


Figure 1- 3 : *Géométrie Soleil-Terre*

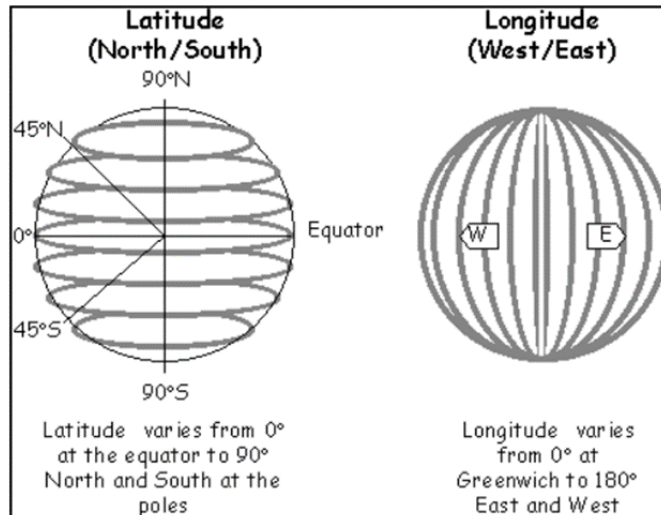


Figure 1- 4 : Carte de latitude et longitude

Le rayonnement solaire est le nombre de photons émis par le soleil. L'irradiance solaire est la puissance/unité de surface, reçue du Soleil. La figure 3 montre que la majeure partie de l'Algérie reçoit une forte intensité de rayonnement solaire avec une moyenne de 2300 kWh/m²/jour [7, 11].

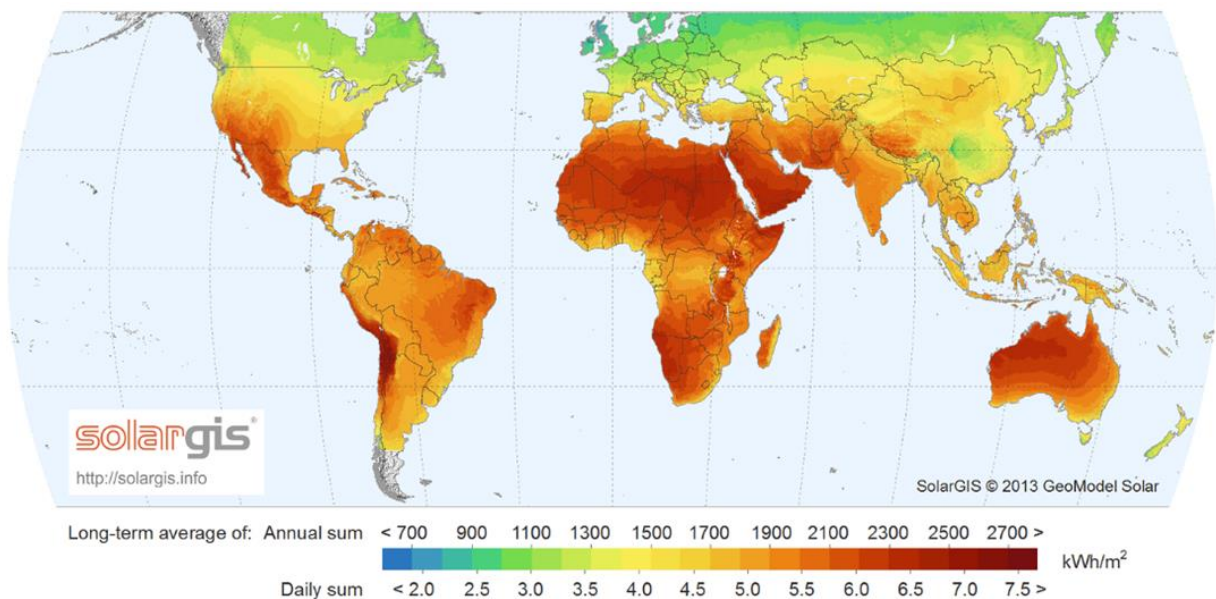


Figure 1- 5 : Carte d'irradiance solaire

Les composants de base du système d'alimentation électrique photovoltaïque sont les modules solaires, les équipements de stockage et de conditionnement d'énergie, le système de rayonnage et les fils de connexion.

1.4. Les Composants des systèmes photovoltaïques :

1.4.1. Cellule solaire photovoltaïque :

C'est un dispositif qui produit une réaction électrique à la lumière, produisant de l'électricité. Les cellules PV n'utilisent pas la chaleur du soleil pour produire de l'électricité. Ils produisent directement de l'électricité lorsque la lumière du soleil interagit avec des matériaux semi-conducteurs dans les cellules PV [12]. Une cellule photovoltaïque en silicium cristallin est de 12 centimètres de diamètre et de 0,25 millimètre d'épaisseur. En plein soleil, il génère 4 ampères de courant continu à 0,5 volts ou 2 watts de puissance électrique [13].

Il existe essentiellement deux types de technologie PV; le type de film mince et le type cristallin. Dans le type de film mince, le PV est réalisé en déposant une couche ultra-mince de matériau photovoltaïque sur un substrat. Le type le plus courant de PV de film mince est constitué de silicium amorphe, mais de nombreux autres matériaux tels que la diésine de cuivre d'indium / gallium (CIGS), de la sélénite d'indium de cuivre (CIS), de la télluride cadmium (CDTE), des cellules sensibilisées à colorant et de l'énergie solaire biologique Les cellules sont également possibles [13].

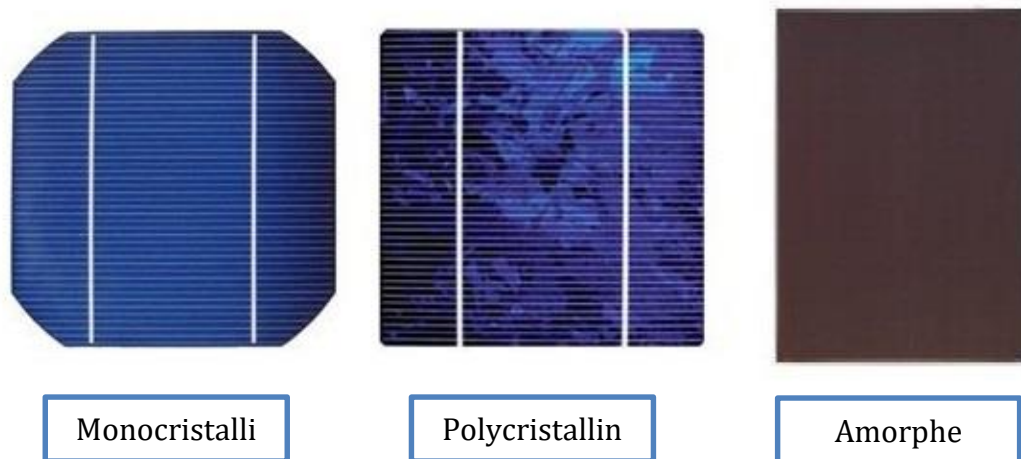


Figure 1- 6 : les Types des cellules photovoltaïques

Tableau 1-1 : Les Types des cellules photovoltaïques

Type de cellule solaire	Taux de Rendement	Avantages	Inconvénients
Panaux solaires monocristallins (Mono-Si)	≈ 20%	Taux de rendement élevé ; optimisé pour un usage commercial ; haute valeur à vie	Cher
Panaux solaires Polycristallins (P-Si)	≈ 15%	Prix inférieur	Sensible aux températures élevées; durée de vie inférieure et efficacité de l'espace légèrement inférieure
Panaux solaires en silicium amorphe (A-Si)	≈ 7-10%	Coûts relativement bas ; Faciles à produire et flexibles	Garanties et durée de vie plus courtes
Cellule PV concentrée (CPV)	≈ 41%	Taux de rendement et d'efficacité très élevés	Un tracker solaire et un système de refroidissement sont nécessaires (pour atteindre un taux de rendement élevé)

1.4.2. Modules photovoltaïques :

Les cellules PV sont les blocs de base de base des modules PV. Pour presque toutes les applications, la demi-volée produite par une seule cellule est inadéquate. Par conséquent, les cellules sont connectées ensemble en série pour augmenter la tension. Plusieurs de ces chaînes de cellules de cellules peuvent être connectées ensemble en parallèle pour augmenter ainsi le courant [14].

Ces cellules interconnectées et leurs connexions électriques sont ensuite prises en sandwich entre une couche supérieure de verre ou de plastique transparent et un niveau inférieur de plastique ou de plastique et de métal. Un cadre externe est utilisé pour abriter le module pour augmenter la résistance mécanique et fournir un moyen de monter l'appareil. Ce paquet s'appelle un module ou un panneau. La quantité de courant produit est directement proportionnelle à la taille de la cellule, à l'efficacité de la conversion et à l'intensité de la lumière. Par exemple, des groupes de cellules photovoltaïques connectés à 36 Série sont emballés ensemble dans des modules standard offrant une tension nominale de 12 volts (ou 18 volts à la puissance de pointe) [12].

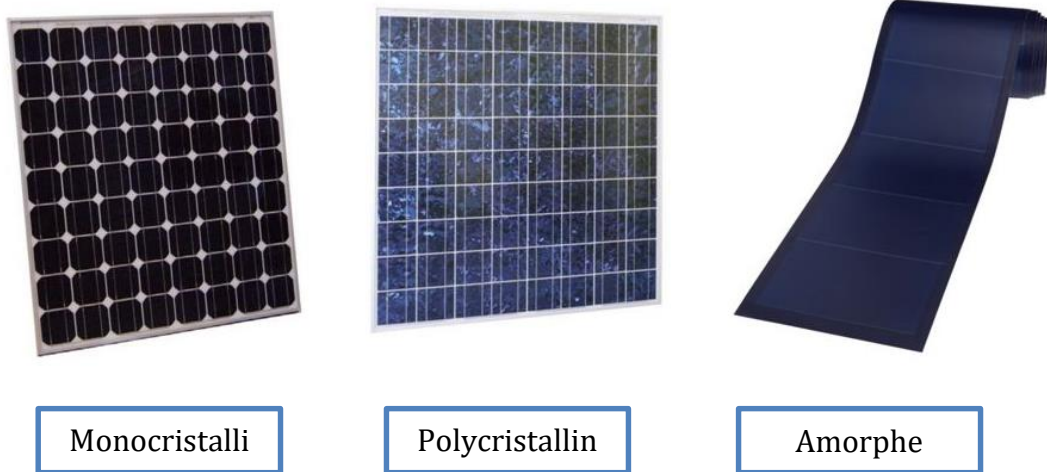


Figure 1- 7 : Les Types des modules photovoltaïques

1.4.3. Régulateur de charge :

L'architecture des systèmes photovoltaïques hors réseau est formée par une disposition de panneaux solaires, d'un banc de batteries, d'un contrôleur de charge. L'un des éléments les plus influents sur la qualité et la durée de vie du système est le contrôleur de charge [15], en raison de ses fonctions de protéger la batterie des surcharges et des décharges profondes [16]. Le contrôleur de charge peut également extraire la puissance maximale du panneau solaire pour le livrer à la charge, en fonction de ses caractéristiques.

Les contrôleurs de charge PWM et MPPT sont les deux types les plus courants

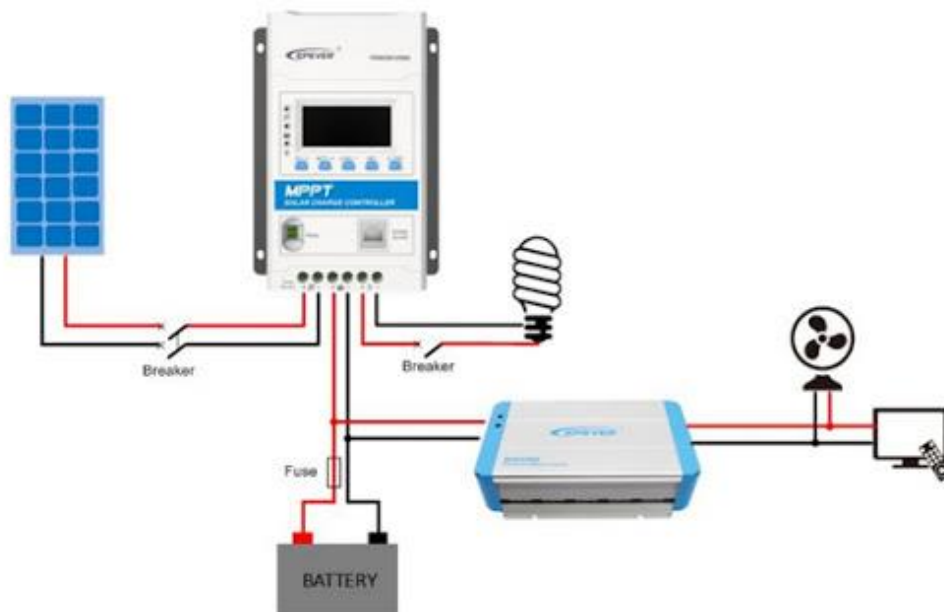


Figure 1- 8 : Schema de montage du regulateur

a) Régulateur PWM (Pulse Width Modulation) :

Le régulateur est inséré entre le champ photovoltaïque et la batterie. Il est composé d'un interrupteur électronique fonctionnant en MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion) et d'un dispositif anti-retour (diode).

L'ouverture et la fermeture de l'interrupteur électronique s'effectuent à une certaine fréquence, ce qui permet de réguler le courant de charge en fonction de l'état de charge avec précision.

Lorsque la tension batterie est inférieure à la tension de limitation du régulateur, l'interrupteur est fermé. La batterie se charge alors avec le courant correspondant à l'ensoleillement. On est en phase "Bulk".

Lorsque la tension batterie atteint un seuil de régulation prédéterminé, l'interrupteur s'ouvre et se ferme à une fréquence fixe pour maintenir un courant moyen injecté dans la batterie. La batterie est chargée, on est en phase "Floating".

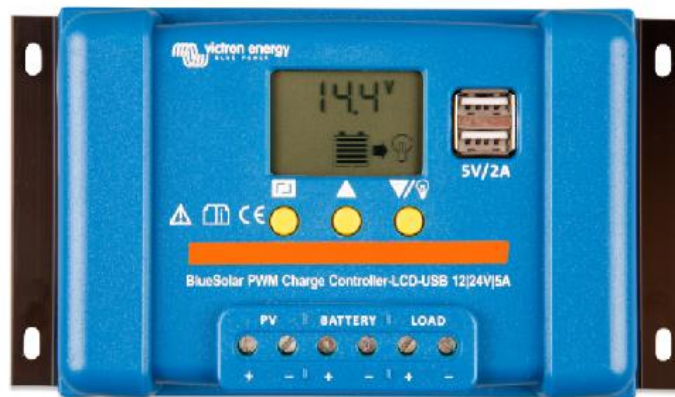


Figure 1- 9 : Régulateur PWM

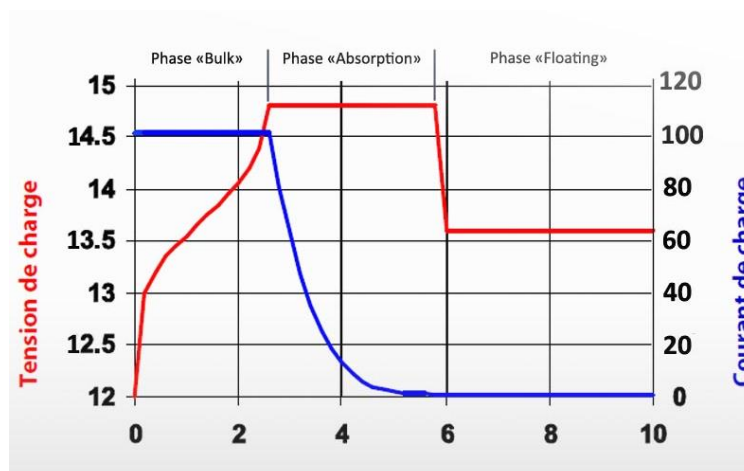


Figure 1- 10 : etapes de charge du batterie solaire

b) Régulateur MPPT (Maximum Power Point Tracking)

Le régulateur de charge est composé d'un convertisseur DC/DC à découpage de haut rendement qui assure trois fonctions :

- Détection de la puissance maximale du champ photovoltaïque tant que la batterie n'est pas chargée.
- Conversion DC/DC.
- Régulation de la tension de sortie en fonction de la phase de charge (Bulk, Absorption et Floating).

Le champ solaire est connecté à l'entrée du régulateur et la batterie à sa sortie. Lorsque la tension batterie est inférieure à la tension de régulation, le régulateur fait fonctionner le générateur photovoltaïque à puissance maximale P_{mpp} et transfère cette puissance à la sortie. Par conception, le régulateur MPPT permet un gain de production de **5 à 30%** par rapport à un régulateur PWM. Ce gain augmentera en hiver et pendant les périodes de faible ensoleillement.

Le régulateur de charge MPPT permet une plus grande souplesse au niveau du choix des panneaux. En effet, tous les types de module photovoltaïque peuvent être utilisés du moment que l'on reste dans les tolérances de tension (V) et de courant (A) du régulateur.

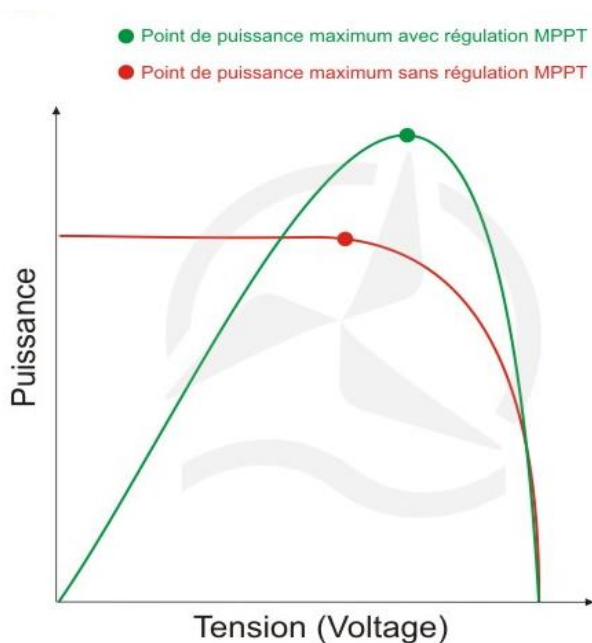


Figure 1- 11 : Graphe de rendement de puissance MPPT



Figure 1-12 : Régulateur MPPT

Tableau 1-2 : Comparaison entre régulateur PWM et MPPT

Contrôleur de charge PWM	Contrôleur de charge MPPT
Couplage direct du champ PV sur la batterie	Charge de la batterie via un convertisseur abaisseur de tension
La tension nominale de la chaîne PV doit être compatible avec la tension batterie	La tension nominale de la chaîne PV peut être supérieure à la tension batterie
Optimisation énergétique lorsque la température des modules est élevée et que la batterie est presque chargée	Gain énergétique maximal lorsque la température des modules est basse et que la batterie est faiblement chargée
Typiquement adapte pour des petits systèmes PV < 200Wc	Plus adapté pour des puissances PV > 200Wc
Nécessite l'utilisation de modules de 36 ou 72 cellules	Possibilité d'utiliser des modules quelque soit le nombre de cellules
Champ PV dimensionné en courant (basé sur le courant de charge de la batterie)	Champ PV dimensionné en puissance (basé sur le courant max de charge x la tension batterie)
Câble PV de grosse section et nécessite une boîte de jonction quand la puissance le justifie	Possibilité de s'affranchir de boîte de jonction dans certains cas et de réduire la section des câbles

1.4.4. Batterie solaire :

Une batterie rechargeable, une batterie de stockage ou une cellule secondaire, est un dispositif électrique constitué d'une ou de plusieurs cellules électrochimiques utilisées pour charger, déchargée de la charge et rechargée de nombreuses fois. La batterie solaire est classée en trois grands types ; Sans entretien (l'efficacité est d'environ 80%), l'acide plomb (efficacité est d'environ 90%) et des batteries Li-ion (l'efficacité est d'environ 98%) [17, 18].

Dans un système PV, l'énergie produite par des modules PV ne coïncide pas toujours avec de l'énergie demandée. Un tableau PV que ce n'est pas connecté à la grille doit stocker l'excès d'énergie produit par les cellules solaires. Les piles de stockage électrique sont souvent utilisées dans des systèmes PV autonomes. Les batteries doivent pouvoir stocker la charge quotidienne totale, en plus de l'énergie supplémentaire perdue en inversant DC à AC.

a) La batterie AGM : Absorbed Glass Mat :

L'électrolyte est absorbé et donc immobilisé dans des buvards en fibre de verre (boro-silicate), placés entre les électrodes. Le processus de recombinaison des gaz est différent du cas des batteries ouvertes : les molécules d'oxygène diffusent à travers les tissus-séparateurs, des électrodes positives vers les électrodes négatives pour y former de l'eau. Jusqu'à 99 % de l'hydrogène et oxygène peuvent être recombinaison en eau.

Les alliages Pb - Ca et Pb - Ca - Sn sont utilisés pour les batteries AGM car ces alliages de plomb permettent de limiter l'électrolyse de l'eau (peu de dégazage).

Les batteries AGM sont pressurisées et sont équipées d'une soupape : quand la pression devient trop importante (surcharge, température élevées...), les gaz s'échappent.



Figure 1- 11 : La batterie AGM

b) La Batterie Gel :

La technologie des batteries plomb / acide "gel" date des années 1950 où elle a été inventée en Allemagne au sein de la société Sonnenschein.

L'électrolyte est figé par l'addition de gel de silice. Dans certaines batteries, de l'acide phosphorique est additionnée afin d'améliorer la durée de vie en cyclage profond.

Des fissures se créent lors de premiers cycles au travers de l'électrolyte gélifié entre les électrodes positives et négatives. Ceci facilite la recombinaison en favorisant le transport des gaz.



Figure 1- 12 : La Batterie Gel

c) La batterie Lithium :

La batterie Lithium est LA nouvelle révolution et technologie 2017 ! Elle offre la durée de vie la plus longue du marché. Elle peut atteindre jusqu'à 7200 cycles à 80 %, soit une durée de vie de plus de 10 ans ! Elle offre d'excellente performance. Ainsi que l'absence d'effet mémoire.



Figure 1- 13 : La Batterie Lithium

Les fonctions principales d'une batterie de stockage dans un système PV sont [19]:

1. Stockage et autonomie de l'énergie: Stockez l'énergie électrique produite par des modules PV et d'alimentation en énergie selon les besoins pour la charge.
2. Stabilisation de la tension et du courant: alimentant une alimentation à des charges électriques dans des tensions et des courants stables.
3. Fournir des courants de surtension: fournissez des courants de fonctionnement élevés à des charges électriques ou des appareils électroménagers.

Tableau 1-3 : Types des cellules photovoltaïques

Type de batterie	Nombre de cycles	Durée de vie	Avantages	Inconvénients
Batterie AGM	1500 cycles (600 cycles à 50%)	≈ 4 ans	<p>Pas d'entretien</p> <p>Très faible dégagement d'hydrogène</p> <p>Faible taux d'autodécharge (1 à 3 % par mois)</p> <p>Densité énergétique élevée</p> <p>Accepte des très forts courants en charge et décharge</p> <p>Moins d'emprise au sol pour une même capacité que les batteries ouvertes</p> <p>Technologie robuste : bonne résistance au choc et vibrations</p>	<p>Durée de vie en recyclage assez faible</p> <p>Certains modèles ne supportent pas la décharge totale</p> <p>Régulation précise en charge afin d'éviter la surcharge et l'assèchement des batteries</p> <p>Prix / batterie ouverte</p>
Batterie GEL	1800 cycles (750 cycles à 50%)	≈ 5 ans	<p>Pas d'entretien</p> <p>Durée de vie en cyclage élevée (500 à 1600 cycles à 80 % de décharge)</p> <p>Très faible dégagement d'hydrogène</p> <p>Faible taux d'autodécharge (1 à 3 % par mois)</p> <p>Bonne résistance au cyclage profond (peut être adapté avec compensation déchargée complètement)</p> <p>Technologie robuste : bonne résistance aux chocs et vibrations (inférieure / AGM)</p>	<p>Prix élevé</p> <p>Peu adaptée aux courants de charge / décharge élevés</p> <p>Nécessite un chargeur et/ou régulateur adapté avec compensation de température si nécessaire</p>
Batterie Lithium	6000 cycles (5000 cycles à 50%)	≈ 15 ans	<p>Un rendement très important</p> <p>Une durée de vie supérieure</p> <p>Une batterie écologique et fiable</p> <p>Un temps de recharge réduit</p> <p>Une légèreté qui séduit</p>	<p>Prix très élevé</p> <p>Un dispositif difficile à produire</p> <p>Un dispositif qui a besoin de protection</p> <p>Le lithium est un métal rare</p>

1.4.5. Onduleur :

Un inverseur de puissance ou un onduleur est un dispositif électronique de puissance ou un circuit qui change de courant continu (DC) au courant alternatif (AC). Comme illustré à (la figure 1). Cela peut être introduit dans une grille électrique commerciale ou utilisée par un réseau électrique local et hors réseau. L'onduleur solaire est classé en trois grands types, nommément; Autonome ou hors réseau, cravate-grille ou invertisseurs de sauvegarde de batterie [20, 18].



Figure 1- 14 : Onduleur

L'onduleur le plus simple peut être accompli avec un circuit similaire à celui illustré à la figure 1-17. Les commutateurs idéaux dans le circuit peuvent représenter des MOSFETs, IGBTs ou des transistors bipolaires (en fonction des exigences de puissance et de tension).

Si les commutateurs sont allumés et éteints à la fréquence alternative requise (S1 & S3 et S2 & S2 & S4). Il s'agit d'une stratégie de contrôle simple, mais aucun contrôle de la tension de charge n'est possible et des courants et des tensions harmoniques élevés sont présents. Les techniques de modulation de largeur d'impulsion haute fréquence sont utilisées pour diminuer la distorsion harmonique et fournir un contrôle de la tension de charge. Le contenu harmonique peut causer une surchauffe dans des charges automobiles en raison de pertes de cuivre plus élevées ainsi que de champs magnétiques inégaux affectant l'opération globale. Les charges électroniques sensibles peuvent également afficher une opération erratique.

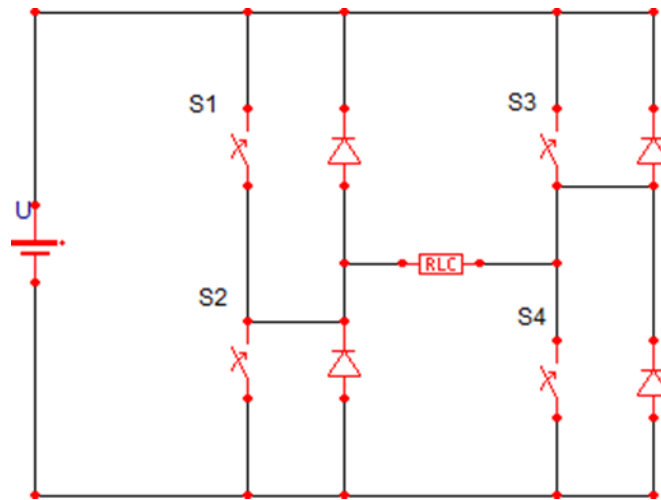


Figure 1- 15 : Principe de fonctionnement d'onduleur

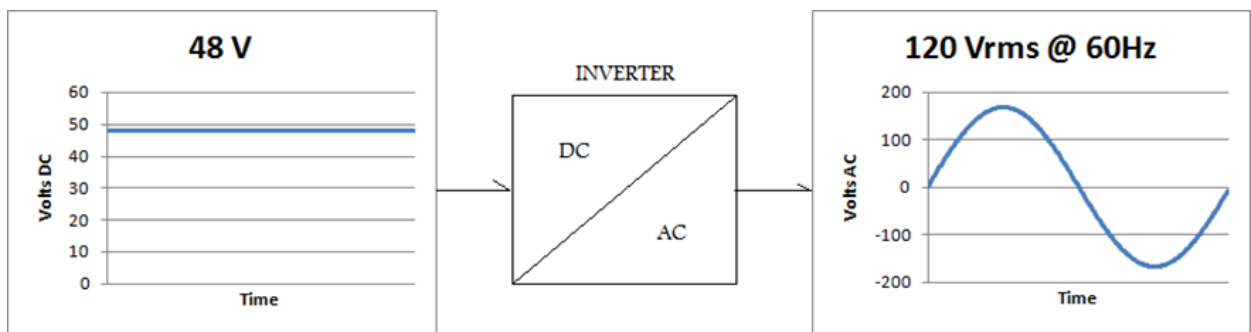


Figure 1- 16 : Le role d'Onduleur

1.5. Types des Systèmes photovoltaïque :

Le système PV solaire est divisé en deux types :

(1) sur la grille et (2) des systèmes hors réseau [21, 23], démontrent dans la figure.

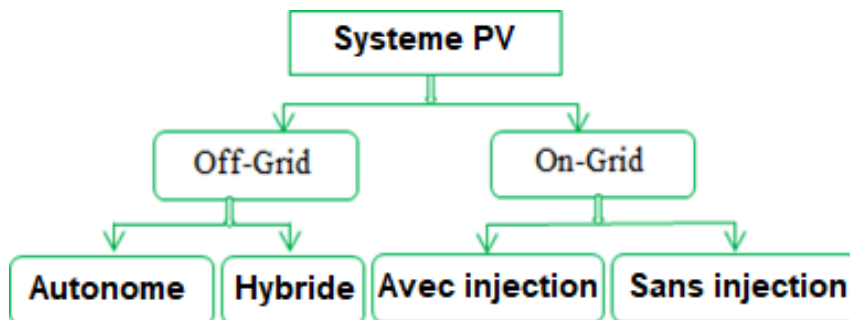


Figure 1- 17 : Types des Systèmes photovoltaïque

1.5.1. Système solaire connecté au réseau :

L'un des types de systèmes photovoltaïques la plus rapides est le système de connexion de la grille. Les systèmes de réseau résidentiel et commercial sont populaires pour réduire la quantité d'énergie fournie par l'utilitaire local. Le système de connexion de la grille est composé d'une matrice solaire (modules PV câblés) et un onduleur pour modifier l'électricité DC en électricité de l'AC.



Figure 1- 18 : Système solaire connecté au réseau

L'énergie électrique produite par la matrice solaire est envoyée à l'utilitaire pendant la journée. Pendant la nuit, les besoins électriques sont fournis par la connexion utilitaire. Le propriétaire du système PV peut économiser de l'argent en produisant et en envoyant plus d'énergie électrique à l'utilitaire que ce que le propriétaire utilise lorsque le système PV n'envoie pas de puissance, telle que la nuit ou les jours nuageux. Le compteur est le processus de calcul de la quantité d'énergie que le propriétaire envoie à l'utilité et à la quantité d'électricité utilisée par le propriétaire de l'utilitaire.

Au cours de la journée, le système photovoltaïque produit plus de puissance que les charges de la résidence nécessitent, générant un crédit pour le propriétaire avec l'utilitaire local. Lorsque les occupants retournent à la fin de la journée, la puissance des charges électriques sera fournie par l'utilitaire. Les subventions et rabais fédéraux et fédéraux aident à compenser les coûts initiaux d'installation d'un système.

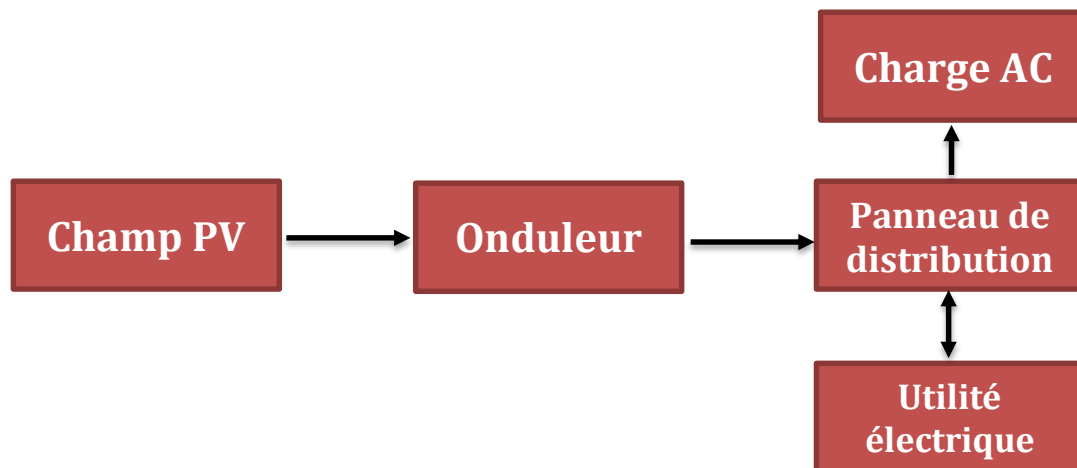


Figure 1- 19 : Schéma du système connecté au réseau

1.5.2. Système solaire hors réseau :

L'une des limites de la vie dans une région éloignée est le coût d'apporter une électricité fournie par utilité. Un propriétaire aurait besoin de compter sur un générateur de combustible fossile, du propane au propane ou une combinaison des deux [7].

Aujourd'hui, un système PV solaire à base de batterie peut être conçu pour alimenter une maison ou une cabine non connectée à un utilitaire local. Ceci est un système hors réseau.

Charges électriques trouvées dans une maison à la maison sur le courant alternatif (AC), mais les modules PV solaires et les batteries produisent de l'électricité actuelle directe (DC). Un onduleur est utilisé pour modifier le courant électrique DC en courant électrique AC. Les onduleurs comme des contrôleurs, sont disponibles dans différentes tailles et capacités pour répondre aux besoins de l'utilisateur. Lors de la conception d'un système à batterie, il est important de calculer toutes les charges électriques qui seront alimentées par le système PV solaire. Le calcul tiendra compte du nombre d'heures par jour et des jours par mois que les charges seront utilisées. Dépasser la capacité du système en ajoutant des charges entraînera le système de ne pas fonctionner efficacement et d'attendre que la banque de batterie soit rechargée par le tableau PV.

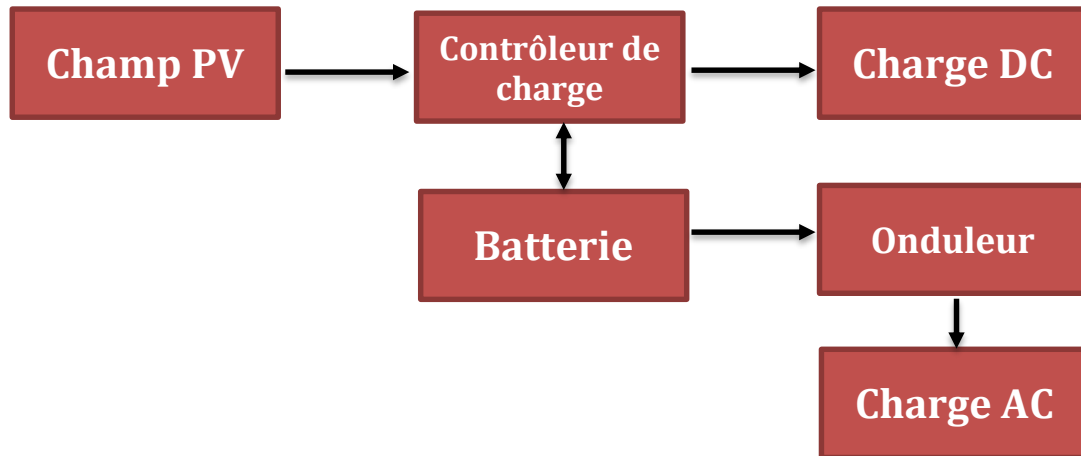


Figure 1- 20 : Schéma du système hors réseau

Avantages: Fournit la puissance de vos charges critiques lorsque la grille de puissance est en panne

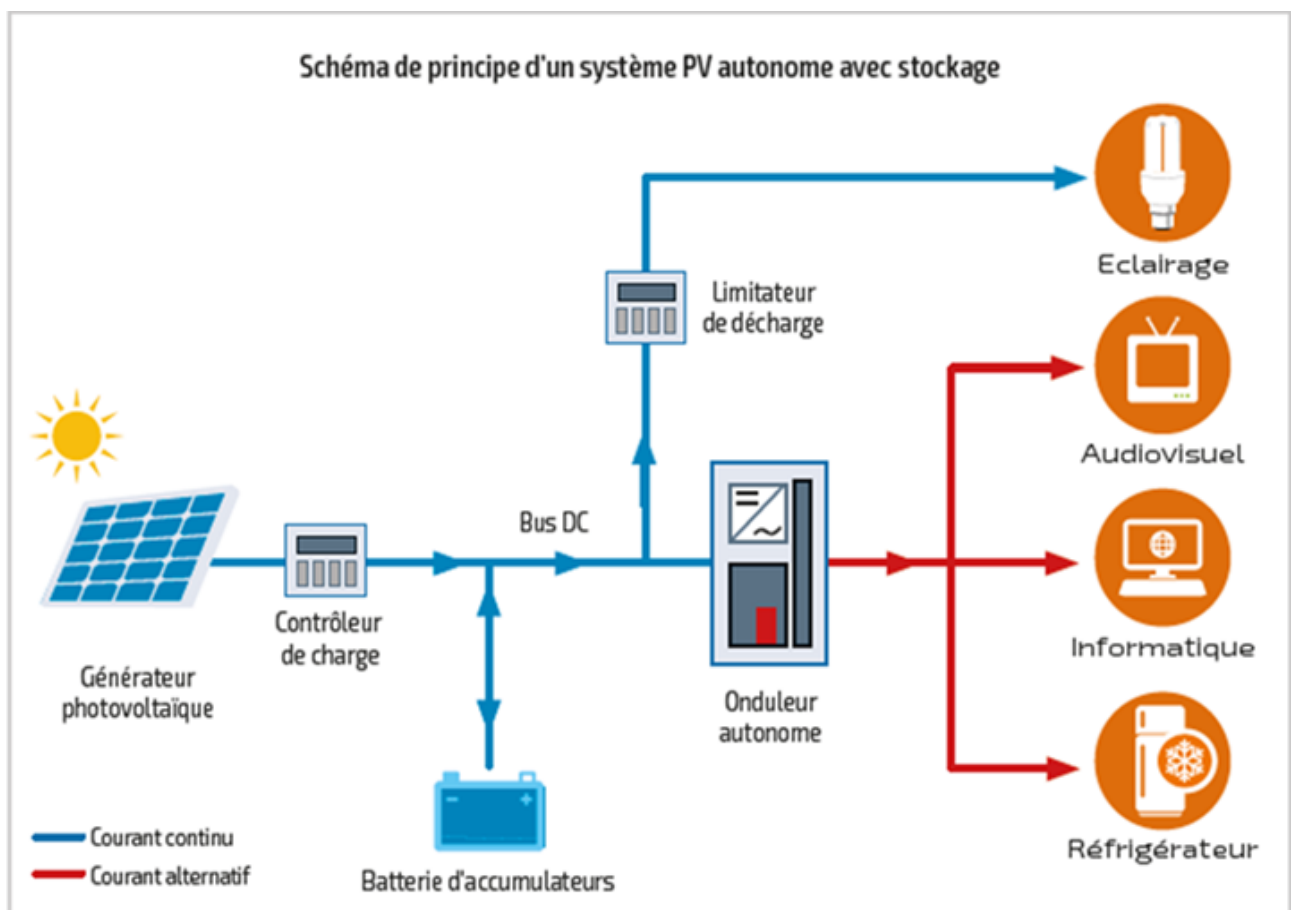


Figure 1- 21 : Schéma d'une installation Autonome

1.5.3. Système photovoltaïque solaire hybride :

Les systèmes hybrides permettent de compenser la puissance de la grille chaque fois que le soleil brille et transmettra même l'excès d'énergie à la grille de crédit pour une utilisation ultérieure [24].

Système hybride solaire, pouvant stocker l'énergie solaire générée pendant la journée et l'utiliser la nuit. Lorsque l'énergie stockée est épuisée, la grille est là en tant que sauvegarde, permettant aux consommateurs d'avoir le meilleur des deux mondes.

Un système hybride combine le PV avec d'autres formes de production d'énergie généralement un générateur diesel. Le biogaz peut également utiliser. L'autre forme de production d'énergie est généralement un type, capable de moduler la sortie de puissance en fonction de la demande. Cependant, plus d'une forme d'énergie renouvelable peut être utilisée par ex. Vent et solaire [25].

La production d'énergie photovoltaïque sert à réduire la consommation de carburant non renouvelable. La figure 7 montre un système hybride typique.

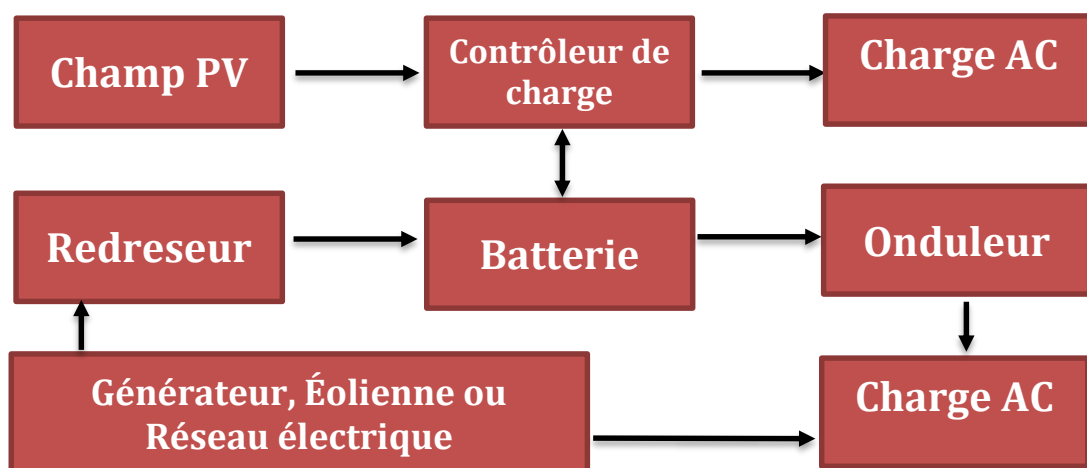


Figure 1- 22 : Schéma du système hybride

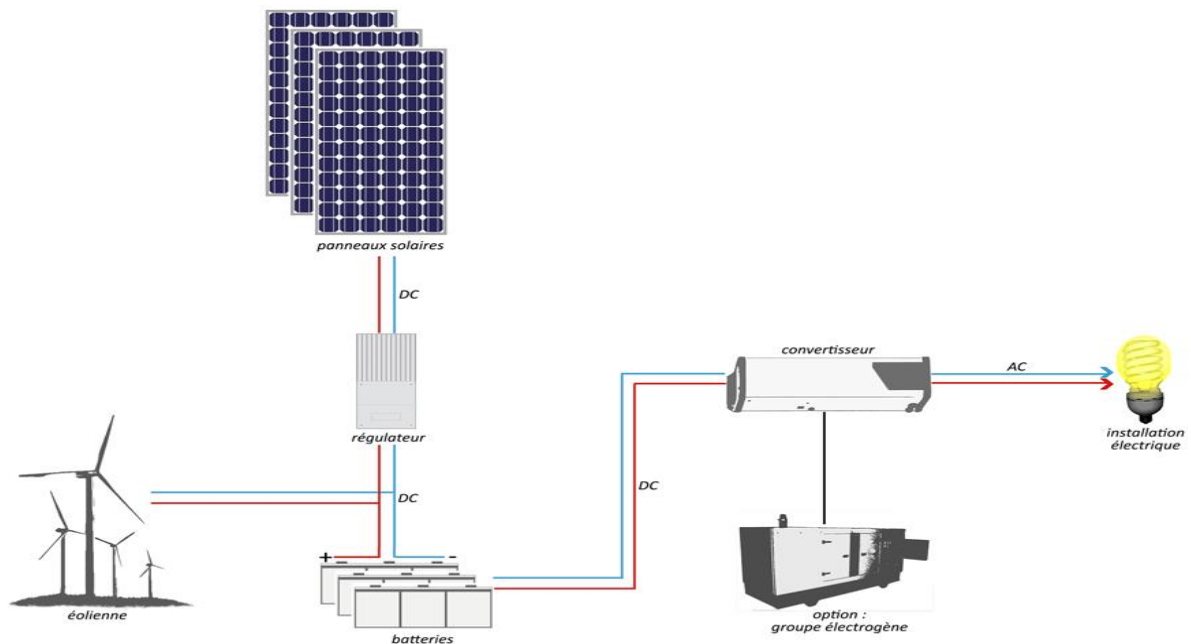


Figure 1- 23 : Schéma d'une installation hybride

1.5.4. Le Pompage Solaire

Il existe deux types de base de systèmes de pompage d'eau à énergie solaire, couplés par batterie et couplés directs. Une variété de facteurs doit être envisagée dans la détermination du système optimal pour une application particulière [26].

Les systèmes de pompage d'eau couplés à la batterie constituent des panneaux photovoltaïques (PV), un régulateur de commande de charge, des piles, un contrôleur de pompe, un pressostat et une pompe à eau de réservoir et de courant continu. Le courant électrique produit par des panneaux photovoltaïques pendant les heures de lumière du jour recharge les batteries et les batteries à tour de rôle de la pompe à tout moment est nécessaire. L'utilisation de piles écarte le pompage sur une période plus longue en fournissant une tension de fonctionnement régulière au moteur DC de la pompe. Ainsi, pendant les périodes de nuit et de faible luminosité, le système peut toujours remettre une source constante d'eau pour le bétail.

L'utilisation de piles a ses inconvénients. Les batteries peuvent réduire l'efficacité du système global car la tension de fonctionnement est dictée par les piles et non les panneaux PV. Cette efficacité réduite peut être minimisée avec l'utilisation d'un contrôleur de pompe approprié qui renforce la tension de la batterie fournie à la pompe.

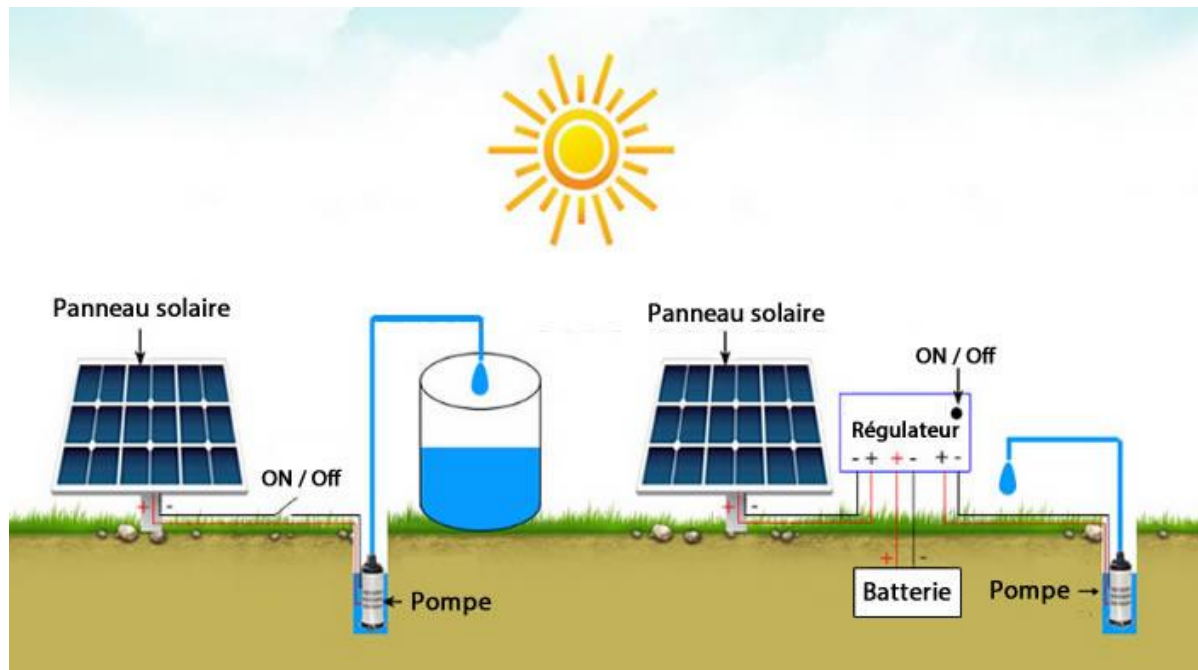


Figure 1- 24 : Types du Pompage Solaire

Dans les systèmes de pompage à couplage direct, l'électricité des modules PV est envoyée directement à la pompe, qui à son tour pompe de l'eau à travers un tuyau vers l'endroit où elle est nécessaire. Ce système est conçu pour pomper l'eau que pendant la journée. La quantité d'eau pompée est totalement dépendante de la quantité de lumière du soleil frappant les panneaux PV et le type de pompe. Étant donné que l'intensité du soleil et de l'angle auquel il frappe le panneau photovoltaïque change tout au long de la journée, la quantité d'eau pompée par ce système change également tout au long de la journée. Par exemple, lors de périodes de lumière solaire optimales (fin matin à la fin de l'après-midi sur des journées ensoleillées lumineuses), la pompe fonctionne à une efficacité ou à proximité de 100% avec un débit d'eau maximal. Cependant, au tôt le matin et en fin d'après-midi, l'efficacité de la pompe peut tomber jusqu'à 25% ou plus dans ces conditions de faible luminosité. Pendant les jours nuageux, l'efficacité de la pompe tombera encore plus. Pour compenser ces débits variables, une bonne correspondance entre la pompe et les module PV est nécessaire pour obtenir un fonctionnement efficace du système.

Les systèmes de pompage à couplage direct sont dimensionnés pour stocker une eau supplémentaire sur des journées ensoleillées afin qu'il soit disponible sur des journées nuageuses et la nuit. L'eau peut être stockée dans un réservoir d'arrosage plus grand que nécessaire ou dans un réservoir de stockage séparé, puis transformé par gravité à des réservoirs d'arrosage plus petits. La capacité de stockage de l'eau est importante dans ce système de pompage. Un stockage de deux à cinq jours peut être nécessaire, en fonction du climat et du modèle d'utilisation de l'eau.

1.6. Conclusion :

Dans ce chapitre, on a parlé sur l'énergie solaire en générale, les composants (Panneaux, Régulateur, ...) et les types des composants photovoltaïque, et leurs principes de fonctionnement, Ainsi, les types et le fonctionnement des systemes photovoltaïques (autonome, hybride, ...).

Chapter 02

Chapitre 2 : Etude et Analyse des composants des system photovoltaïque

2.1. Introduction

Dans ce chapitre, on va comparer des fiches techniques des composants photovoltaïque disponible en algerie, on va ramener deux composans de meme puissance et tension et aussi de marque, et fair l'étude technique et techniquo-economique, afin de nous permettre de choisir les bons composants photovoltaïques.

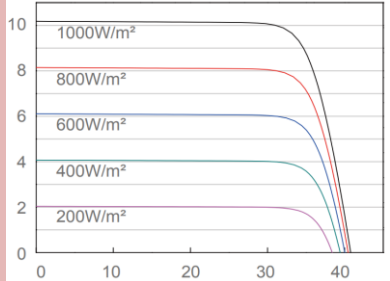
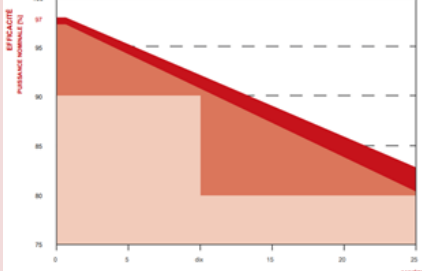
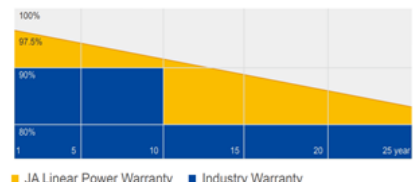
2.2. Panneau solaire photovoltaïque :

2.2.1. Panneau Monocristallin

Pour cette comparaison on va prendre deux panneaux monocristallin de meme puissance (320 W), mais de marques différentes **JNLSOLAR** et **JA SOLAR**.

Tableau 2-1 : Comparaison des panneaux monocristallins

Panneau Monocristallin		
Marque	JNS60MB - 320Wp JNLSOLAR	JAM60S09 -320 JA SOLAR
Effacité du module	19,18%	19,4%
STC (1000 W/m² AM 1.5, 25°C)		
Puissance de crête (Pmax)	320 W	320 W
Tension d'alimentation Vmp (V)	33,5	33.17
Courant de puissance Imp (A)	9,55	9.65
Tension de circuit ouvert Voc (V)	39,9	40.78
Courant de court-circuit Isc (A)	10.08	10.18
Coefficients de température de Pmax	- 0,37% / ° C	- 0,37% / ° C
Coefficients de température de Voc	- 0,30% / ° C	- 0,30% / ° C
Coefficients de température de Isc	0,06% / ° C	0,06% / ° C
Tolérance	+ -3%	0 +5W

NOCT (800 W/m ² AM 1.5, 45°C)		
Marque	JNS60MB - 320W _p JNLSOLAR	JAM60S09 -320 JA SOLAR
Puissance de crête (P _{max})	/	237
Max. Tension d'alimentation V _{mp} (V) Max.	/	31.32
Courant de puissance I _{mp} (A) Tension de circuit ouvert Voc (V)	/	7.56
Courant de court-circuit I _{sc} (A) Tolérance de puissance	/	38.56
Poids	19 kg	18.4 kg
Durée de vie	25 ans	25 ans
Dimensions	1665 x 1002 x 35	1657×996×35
Prix	164,70 €	199,00 €
Caractéristiques I(V)	/	
Garantie de performance lineaire		<p>Superior Warranty</p> <ul style="list-style-type: none"> • 12-year product warranty • 25-year linear power output warranty  <p>■ JA Linear Power Warranty ■ Industry Warranty</p>

Commentaire :

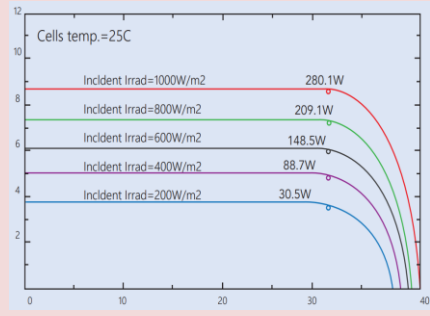
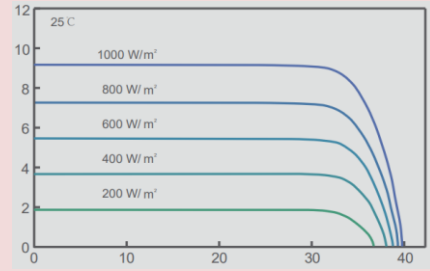
Les deux Panneaux Photovoltaïques ont presque les mêmes propriétés techniques, mais la fiche technique du panneau JA SOLAR est plus détaillée que le panneau JNLSOLAR, avec les propriétés NOCT et le graph I-V la marque JA SOLAR est la plus fiable.

2.2.2. Panneau polycristallin :

Pour cette comparaison on va prendre deux panneaux polycristallin de meme puissance (270 W), mais de marques différentes **BETOP** et **JA SOLARPV**.

Tableau 2-2 : Comparaison des panneaux polycristallins

Panneau polycristallin		
Marque	POLY 60PCS 270W BETOP	SP270P6-60 SOLARPV
Efficacité du module	16.59 %	16.50%
STC (1000 W/m ² AM 1.5, 25°C)		
Puissance de crête (Pmax)	270 W	270 W
Tension d'alimentation Vmp (V)	30.90	30.72
Courant de puissance Imp (A)	8.73	8.79
Tension de circuit ouvert Voc (V)	37.90	37.92
Courant de court-circuit Isc (A)	9.22	9.28
NOCT (800 W/m ² AM 1.5, 45°C)		
Puissance de crête (Pmax)	/	200
Tension d'alimentation Vmp (V)	/	29.29
Courant de puissance Imp (A)	/	6.83
Tension de circuit ouvert Voc (V)	/	36.25
Courant de court-circuit Isc (A)	/	7.31
Tension maximale du système		
	1000 V	1000/1500V
Valeur nominale maximale des fusibles en série		
	15A	20A
Coefficients de température de Pmax		
	-0.41% / °C	-0.38%/°C
Coefficients de température de Voc		
	-0.32% / °C	-0.33%/°C
Coefficients de température de Isc		
	0.05% / °C	0.05%/°C

Poids	18 kg	17.5 kg
Dimensions	1640×992×35mm	1650×992×35mm
Durée de vie	25 ans	25 ans
Caractéristiques I(V)		
Prix	184 €	198 €

Commentaire :

Les deux Panneaux ont presque les mêmes propriétés et même prix, mais avec un plus grand support de Tension maximale du système et Valeur nominale maximale des fusibles en série, et avec une fiche technique plus détaillé le Panneau SOLARPV est plus fiable.

2.2.3. Panneau CdTe:

Pour cette comparaison on va prendre deux panneaux CdTe de meme puissance (80 W), mais de marques différentes CALYXO et JA First Solar.

Tableau 2-3 : Comparaison des panneaux de CdTe

Panneau CdTe		
Marque	CX1 80 CALYXO	FS-280 First Solar FS Series 2 PV Module
STC (1000 W/m² AM 1.5, 25°C)		
Puissance nominale	/	80
Puissance de crête (Pmax)	80	71.2
Tension d'alimentation Vmp (V)	64,3	72.4
Courant de puissance Imp (A)	1,27	1.12
Tension de circuit ouvert Voc (V)	87,4	91.5
Courant de court-circuit Isc (A)	1,43	1.22
Coefficients de température de Pmax	- 0,25%/°C	-0.25%/°C
Coefficients de température de Voc	- 0,24%/°C	-0.25%/°C
Coefficients de température de Isc	+ 0,02%/°C	+0.04%/°C
NOCT (800 W/m² AM 1.5, 45°C)		
Puissance de crête (Pmax)	62,1	60
Tension d'alimentation Vmp (V)	60,8	66.8
Courant de puissance Imp (A)	1,02	0.90
Tension de circuit ouvert Voc (V)	82,7	85.1
Courant de court-circuit Isc (A)	1,15	1.00
Tolérance	[+10% / -5%]	+/-10%
Durée de vie	25 ans	25 ans
Dimensions	1200x600x6.9 mm	1200x600x6.8 mm
Prix	111 €	

Commentaire :

Les deux panneaux PV ont presque les memes caractéristiques techniques aux conditions NOCT, mais ils sont differents en condition STC, Donc, ils resistant au temperature élevé, mais on remarque que les deux marques n'ont pas indiqué le rendement et la caracteristique I(V) des panneaux.

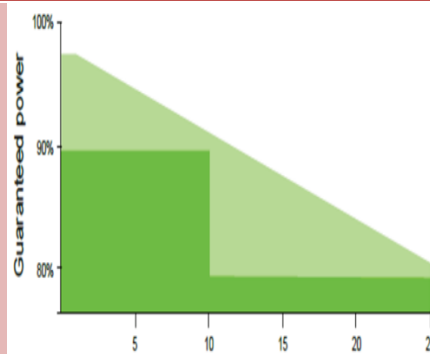
2.2.4. Panneau Amorphe :

Pour cette comparaison on va prendre deux panneaux Cdte de meme puissance (100 W), mais de marques différentes **Yangtze Solar** et **JA HTSOLAR**.

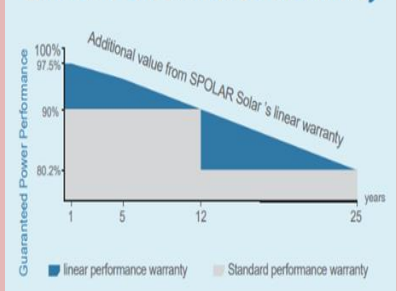
Tableau 2-4 : Comparaison des panneaux Amorphe

Panneau Amorphe		
Marque	AX-6M100F Yangtze Solar	HT-F100W-32P HTSOLAR
Efficacité du module	21.6%	17%
STC (1000 W/m ² AM 1.5, 25°C)		
Puissance de crête (Pmax)	100 W	100W
Tension d'alimentation Vmp (V)	20.2	16
Courant de puissance Imp (A)	4.95	6.25
Tension de circuit ouvert Voc (V)	25.3	19.2
Courant de court-circuit Isc (A)	4.35	6.88
Coefficients de température de Pmax	-0.45%/°C	-0.3±0.02%/°c
Coefficients de température de Voc	-0.32%/°C	+0.04±0.015%/°c
Coefficients de température de Isc	0.06%/°C	-0.45±0.05%/°c
Tolérance	0 ~+5W	0 ~+3%
Durée de vie	25 ans	25 ans
Température de fonctionnement	-40°C To +85°C	-40°C To +90°C
Degré de protection	IP65/IP67	IP65
Dimensions	1120x525x2 mm	1060x540x3mm
Poids	4.5 Kg	2kg
Tension maximale du système	700V	1000V
Caractéristiques I(V)		
Prix	46.52 €	64.28 €

Garantie de performance lineaire



Linear Performance Warranty



Commentaire :

Les deux Panneaux ont presque les mêmes propriétés et même prix, mais avec de fausses valeurs de **Imp** et **Isc** (**Imp supérieur à Isc**), et un rendement illogique pour un panneau amorphe (21.6%), le Panneau de **Yangtze Solar** n'est pas fiable.

2.3. Onduleur

2.3.1. Onduleur Autonome

Pour cette comparaison on va prendre deux onduleurs autonomes de même puissance (**1200 VA**), mais de marques différentes **Victron** et **JA UNITECK**.

Tableau 2-5 : Comparaison des Onduleurs Autonomes

Onduleur Autonome		
Marque	Phoenix 12/1200 Victron	UNIPOWER 1200.12 DC UNITECK
Puissance de surtension	2200 W	2 400W
Tension de sortie CA	230 VCA ou 120 VCA	230 V
Fréquence	50 Hz ou 60 Hz	50 Hz
Plage de tension d'alimentation	9,2 - 17 / 18,4 - 34,0 / 36,8 - 62,0 V	9,5 - 16 V
Efficiéce maximale	91 %	90%
Consommation à vide	7 W	1,1 A
Plage de température de fonctionnement	-40 à +65 °C (refroidissement par ventilateur)	-10 à +45 °C
Humidité (sans condensation)	maxi 95 %	90% max
Degré de protection	IP 21	IP 10
Poids	7,4 kg	5 kg
Dimensions (HxLxP en mm)	117 x 232 x 362	435 x 179 x 82,5
Prix	376,38 €	401.93 €

Commentaire :

Malgré les deux onduleurs sont de même puissance 1200W, mais celui de marque victron nous donne plus de choix en termes de Tension de sortie, Fréquence, Plage de tension d'alimentation et Plage de température de fonctionnement avec un meilleur degré de protection et très bon prix.

2.3.2. Onduleur Hybride

Pour cette comparaison on va prendre deux onduleurs hybrides de même puissance (**3000 VA**), mais de marques différentes **Growatt** et **JA SUPERWATT**.

Tableau 2-6 : Comparaison des Onduleurs Hybrides

Onduleur Hybride		
Marque	SPF 3000TL HVM-24 Growatt	MPS 3KVA-24 25A MPPT 3000VA/2400W SUPERWATT
PUISSANCE NOMINALE	3000VA/ 3000W	3000VA/2400W
Puissance de surtension	6000VA	6000 VA
Tension de sortie CA	230VAC ± 5%	230VAC
Fréquence	50 Hz ou 60 Hz	50 Hz ou 60 Hz
Plage de tension d'alimentation DC	30VDC ~ 80VDC	30 ~ 66 VDC
Tension d'entrée AC	230 VAC	230 VAC
Efficacité	93%	90%
Plage de température d'exploitation	0°C - 55°C	0°C - 55°C
Humidité (sans condensation)	5% to 95%	5% to 95%
Poids	8.5 kg	8 kg
Dimensions (HxLxP en mm)	130 x 315 x 35	128 x 272 x 35
Voltage de batterie	24 VDC	24 VDC
Type de batterie	acide-Plomb	/
Puissance maximale du générateur PV	1500W	600 W
VCO Max	102VDC	75 VDC
Courant de charge solaire maximal	50A	90 A
Courant de charge	30A	25 A
Prix	415 €	239,75 €

Commentaire :

Les deux onduleurs sont de même puissance apparente 3000VA, mais l'onduleur SUPERWATT donne seulement 2400 W (puissance active), et peut supporter 600 W Puissance maximale du générateur PV et 75 VDC VCO Max ; Tandis que l'onduleur Growatt peut supporter 1500 W Puissance maximale du générateur PV et 102 VDC VCO Max avec une différence de prix de 200 €.

2.3.3. Onduleur connecté au réseau

Pour cette comparaison on va prendre deux onduleurs connectés au réseau de même puissance (3000 VA), mais de marques différentes **Sunny Boy** et **Sunteams**.

Tableau 2-7 : Comparaison des Onduleurs connectés au réseau

Onduleur connecté au réseau		
Marque	Onduleur SMA monophasé Sunny Boy SB 3.0 / 1AV-41	Onduleur solaire - Sunteams 3000
PUISSANCE NOMINALE	3000 W	2800W
Puissance de surtension	3000 W	3000W
Tension de sortie CA	180 V à 280 V	180V-280V
Fréquence	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz à +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz à +5 Hz
Plage de tension d'alimentation DC	100 V / 125 V	150 V
Nombre de MPP Tracers	2	1
Efficacité	97.0 %	96.7 %
Plage de température d'exploitation	-25 °C à +60 °C	-25 °C à +60 °C
Humidité (sans condensation)	100 %	/
Poids	16 Kg	14.1Kg
Dimensions (HxLxP en mm)	435 mmx470 mmx176 mm	415x376x125
indice de protection (selon IEC 60529)	IP65	IP65
Puissance maximale du générateur PV	3200W	3160W
Courant d'entrée max par entrée	15A	13A
Courant de sortie max	16 A	17A
Prix	1 002,15 €	778,80€

Commentaire :

On a deux onduleur raccordé au réseau de 3000W de différentes marques, Sonny boy et sunteams, mais la fiche technique indique que la puissance nominale de sunteams est inférieur à l'autre. Malgré les deux onduleurs ont presque les mêmes propriétés, mais l'onduleur Sunteams est moins cher que Sonny Boy de 220 euro.

2.4. Régulateur de charge :**2.4.1. Régulateur de charge PWM :**

Pour cette comparaison on va prendre deux Régulateurs PWM de meme tension et de meme courant (**24V/20A**), mais de marques différentes **Steca** et **JA Victron**.

Tableau 2-8 : Comparaison des Régulateurs de charge PWM

Régulateur de charge PWM		
Marque	Steca PR 24/20A 2020	BlueSolar PWM-DUO LCD-USB Victron 12/24 V 20 A
Tension de la batterie	12/24 V	12/24 V
Autoconsommation	12,5 mA	10 mA
Tension à vide du panneau photovoltaïque	< 47 V	28V/55V
Courant du panneau	20 A	20A
Température de fonctionnement	-10 °C à +50 °C	-35 °C à +55 °C
Degré de protection	IP 32	IP20
Dimensions (X x Y x Z)	187 x 96 x 44 mm	101,5 x 184,0 x 47,1 mm
Poids	350 g	300 g
Humidité (sans condensation)	/	Max 95%
Auxiliaire	/	2 ports USB 5 V/2 A
Sortie de la deuxième batterie	/	Oui
Prix	122,00 € TTC	83,64 € TTC

Commentaire :

On a deux régulateurs de Charge PWM de 24V/20A mais de deux marques différentes, STECA et Victron, on observe que l'auto consommation de STECA est légèrement supérieure à l'autre, et la plage de température de fonctionnement est très supérieure dans la marque Victron contrairement au degré de protection, on remarque que l'humidité n'est pas mentionnée dans STECA, et il y a pas des auxiliaires comme la marque Victron, la marque Victron a une deuxième sortie de batteries qui augmente la durée de vie des batteries alimentées. Finalement, le prix de STECA est très supérieur à Victron sans justification technique suffisante de prix.

2.4.2. Régulateur de charge MPPT :

Pour cette comparaison on va prendre deux Régulateurs MPPT de même tension et courant (150V/60A), mais de marques différentes **Steca** et **JA Victron**.

Tableau 2-9 : Comparaison des Régulateurs de charge MPPT

Régulateur de charge MPPT		
Marque	Régulateur solaire MORNINGSTAR TS MPPT 60 (150V) (60A - 12 / 24 / 36 / 48V)	VICTRON BlueSolar MPPT 150/60 Tr (150V) (60A - 48V)
Tension de la batterie	12 /36 /24 /48 V	12 /36 /24 /48 V
Courant de charge nominal	60 A	60 A
Puissance nominale PV, 12 V	800 W	860 W
Puissance nominale PV, 24V	1600 W	1720 W
Puissance nominale PV, 48V	3200 W	3440 W
Tension PV maximale de circuit ouvert	150 V	150 V dans les conditions les plus froides 145 V pour le démarrage et le fonctionnement
Efficacité maximale	99%	98 %
Autoconsommation	56 mA	10 mA
Température de fonctionnement	-40 °C à +45 °C	-30 à +60 °C
Degré de protection	IP20	IP43 (composants électroniques), IP22 (zone de connexion)
Dimensions (X x Y x Z)	291 x 130 x 142 mm	185 x 250 x 95 mm
Poids	4,2 kg	3 kg
Humidité (sans condensation)	100 %	95 %
Prix	865,00 € TTC	561,00 € TTC

Commentaire :

On a deux Régulateurs de charge MPPT de 48V/60A, de différentes marques un est MORNINGSTAR la tension d'entrée (12V/24V/48V). Par contre, le rendement, l'humidité et le poids sont supérieurs à Victron, le degré de protection est très supérieur dans Victron, alors on a une bonne protection contre la poussière et les gouttes d'eau. Enfin, le prix, le prix de MORNINGSTAR est très supérieur à TS et l'autre VICTRON, la puissance nominale de Victron est toujours supérieure à l'autre quel que soit à Victron sans justification technique suffisante de prix.

2.5. Batteries :**2.5.1. Batteries AGM :**

Pour cette comparaison on va prendre deux Batteries AGM de même capacité (**220Ah**), mais de marques différentes **UNITECK** et **Victron**.

Tableau 2-10 : Comparaison des Batteries AGM

Batteries AGM		
Marque	UNIBAT 220.12 AGM UNITECK	BAT412201080 Victron 220 Ah
Tension de la batterie	12 V	12 V
Courant de charge Max	82 A	65 A
Courant de décharge Max	1640 (5 s)	1720 (5 s)
Capacité nominal	20HC20 220 Ah 10HC10 205 Ah 5HC5 194 Ah 1HC1 144 Ah	20HC20 220 Ah 10HC10 202 Ah 5HC5 187 Ah 1HC1 143 Ah
Cyclage de décharge (% de décharge)	20% 2000 > 2500 50% 900 > 1000 80% 600 > 650 100% 350 > 400	1500 cycles à décharge 30% 600 cycles à décharge 50% 400 cycles à décharge 80%
Auto décharge	1 mois : 3% (25°C) 3 mois : 8% 6 mois : 15 %	2% par mois à 20°C
Dimensions (X x Y x Z)	522 x 221 x 240	522x238x240 mm
Température de fonctionnement	-15 °C à +40 °C	-20 °C à +50 °C
Émissions de gaz	Non	Oui
Poids	58.5 Kg	65 Kg

Marque	UNIBAT 220.12 AGM UNITECK	BAT412201080 Victron 220 Ah
Dégradation en fonction de température		
Prix	595,00 €	529,60 €

Commentaire :

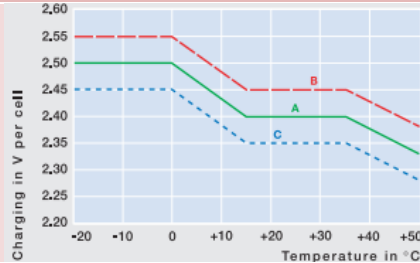
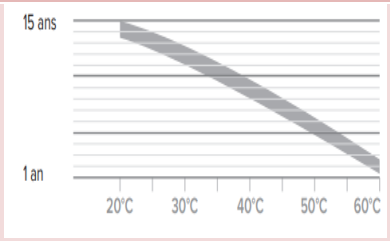
On a deux Batteries AGM 12V 220Ah de deux marques différentes. Une, de marque UNITECK, l'autre est Victron, on trouve que le courant de charge maximale est très supérieur dans UNITECK, Les Cycles de décharge de UNTECK sont très supérieurs à Victron ce qui implique la longue durée de vie par rapport à Victron, l'auto décharge est très dangereux pour les batteries, alors il faut un minimum auto décharge que l'on trouve dans Victron a un pourcentage de 2% par mois, la plage de la température de fonctionnement est plus large dans Victron .

L'émission de gaz est très dangereuse parce qu'elle est toxique, la batterie de UNITECK n'émit pas de gaz toxique, contrairement à la batterie de Victron, elle émit de gaz toxique, Enfin, le prix de batterie UNITECK est supérieurs à Victron avec une justification technique de prix supérieur (Cyclage de charge, émission de gaz, urée de vie, poids)

2.5.2. Batteries Gel :

Pour cette comparaison on va prendre deux Batteries GEL de meme capacité (**220Ah**), mais de marques différentes **SONNENSCHNEIN** et **UNITECK**.

Tableau 2-11 : Comparaison des Batteries Gel

Batteries GEL		
Marque	SB12/100 A SOLAR BLOCK SONNENSCHNEIN	Batterie GEL Plomb Carbone - 12V (100Ah (UNIBAT 100.12 GEL) UNITECK
Tension de la batterie	12 V	12 V
Capacité	100 Ah	100 Ah
Courant de charge Max	/	25 A
Courant de décharge Max	/	1900 A
Capacité nominal	20HC20 90 Ah 10HC10 89 Ah 5HC5 84 Ah 1HC57 Ah	20HC20 100 Ah 10HC10 95 Ah 5HC5 87 Ah 1HC1 64 Ah
Cyclage de décharge (% de décharge)	20% 6000 > 6500 50% 2000 > 2500 80% 1500 > 2000 100% 1000 > 1500	20% 3000 > 3500 50% 1500 > 1750 80% 800 > 900 100% 350 > 400
Auto décharge	/ / /	1 mois : 3% (25°C) 3 mois : 8% 6 mois : 15 %
Dimensions (X x Y x Z)	513 x 189 x 223	522 x 221 x 240 mm
Température de fonctionnement	-20 °C à +50 °C	-20 °C à +50 °C
Émissions de gaz	/	Oui
Dégradation en fonction de température		
Poids	39 Kg	30 Kg
Prix	345,00 € TTC	319,00 € TTC

Commentaire :

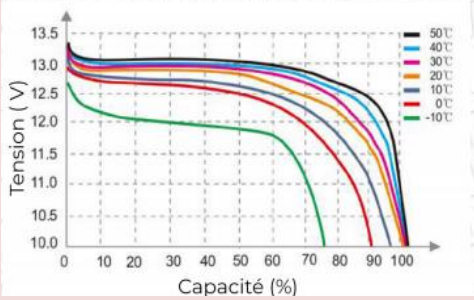
On a deux Batteries GEL 12V/100Ah de deux Marques différentes. Une, de la part de SONNENSCHNEIN et l'autre de la part de UNITECK, on remarque qu'il y a beaucoup de paramètres techniques moquant dans la marque SONNENSCHNEIN comme le de charge et de décharge maximale, auto décharge et l'émission de gaz. Les cycles de décharge dans SONNENSCHNEIN sont presque trois fois supérieur que UNITECK, implique une très longue vie, le Poids de SONNENSCHNEIN est lourd par rapport à l'autre. Enfin, Le Choix de la batterie dépend de la disponibilité du produit dans votre région.

2.5.3. Batteries Lithium :

Pour cette comparaison on va prendre deux Batteries Lithium de même capacité (**220Ah**), mais de marques différentes **MaxLi** et **SuperPack**.

Tableau 2-12 : Comparaison des Batteries Lithium

Batteries Lithium		
Marque	Batterie lithium MaxLi 12.8V 100Ah	Batteries au lithium SuperPack de 12,8 V / 100 Ah Victron
Tension de la batterie	12.8 V	12.8 V
Capacité	100 Ah	100 Ah
Courant de charge Max	100 A	50 A
Courant de décharge Max	105 A (5 s)	100 A (5 s)
Cycle de décharge Max (à 80% DOD 25 C)	> 3000	> 2500
Degré de protection	IP65	IP43
Auto décharge	3% par mois	/
Dimensions (X x Y x Z)	513 x 189 x 223	522 x 221 x 240 mm
Température de fonctionnement	-20 °C à +60 °C	-20 °C à +50 °C
Émissions de gaz	Non	Non

Dégradation en fonction de température	<p style="text-align: center;">Courbe de température de décharge différente (0.5C)</p> 	/
Poids	13.8 Kg	14 Kg
Prix	698,07 €TTC	1 065,85 €

Commentaire :

On a deux Batteries au lithium 12.8V/100Ah de différentes marques. Une, de la part de MaxLi. L'autre, de la part de Victron, le Courant de charge Max est le double dans MaxLi que l'autre, le cycle de décharge maximale à 80% et 25C est supérieur dans MaxLi, le degré de protection est très excellent et supérieur à Victron, l'auto décharge n'est pas mentionné dans Victron, la plage de température de fonctionnement est supérieur aussi à Victron. Enfin, la batterie de MaxLi est très conseillé.

2.6. Effet de l'humidité sur la performance PV :

L'humidité décrit la quantité de vapeur d'eau dans un gaz comme de l'air. La température de la vapeur d'eau et de l'air sont les mêmes? Étant donné que la capacité de l'air à maintenir la vapeur d'eau est principalement une fonction de température, l'air plus chaud a une plus grande capacité pour maintenir la vapeur d'eau que l'air plus frais [27]. Humidité relative définie comme le rapport de vapeur d'eau réellement dans l'air à la vapeur d'eau maximale, l'air peut contenir à une température donnée. Si l'air est relativement sec par rapport à sa capacité, le pourcentage d'humidité relative est faible. En raison de la température, la condensation et l'évaporation L'humidité relative varie [28].

Dans cette étude, nous avons utilisé trois types de panneaux solaires.

Tableau 2-13 : Comparaison des types des panum

Monocrystalline	Polycrystalline	Amorphous silicon
Tension de circuit ouvert de pointe 10W de pic 21.9V	Tension de circuit ouvert de pointe 10W de pic 21.3V	Tension de circuit ouvert de pointe 10W de pic 35V
Courant de court-circuit 0.63A	Courant de court-circuit 0.66A	Courant de court-circuit 0.66A
Nombre de cellules 36	Nombre de cellules 36	Nombre de cellules 36
Tolérance de puissance 0 / + 3%	Tolérance de puissance 0 / + 3%	Tolérance de puissance 0 / + 3%
Tension Max de puissance 17.5V	Tension Max de puissance 17.3V	Tension Max de puissance 18V
Courant Max de courant 0.57A	Courant Max d'alimentation 0.58A	Courant Max d'alimentation 0.46A
Taille du module 350 * 285 * 28mm (1,5 kg)	Taille du module 440 * 283 * 28mm (1,5 kg)	Taille du module 615*305*68mm (1,5 kg)

2.6.1. Polycristallin :

Dans le cas de Polycristallin, l'effet de l'humidité relative (voir figure 2-1) que lorsque nous avons diminué en humidité, la tension, le courant et l'efficacité augmentent.

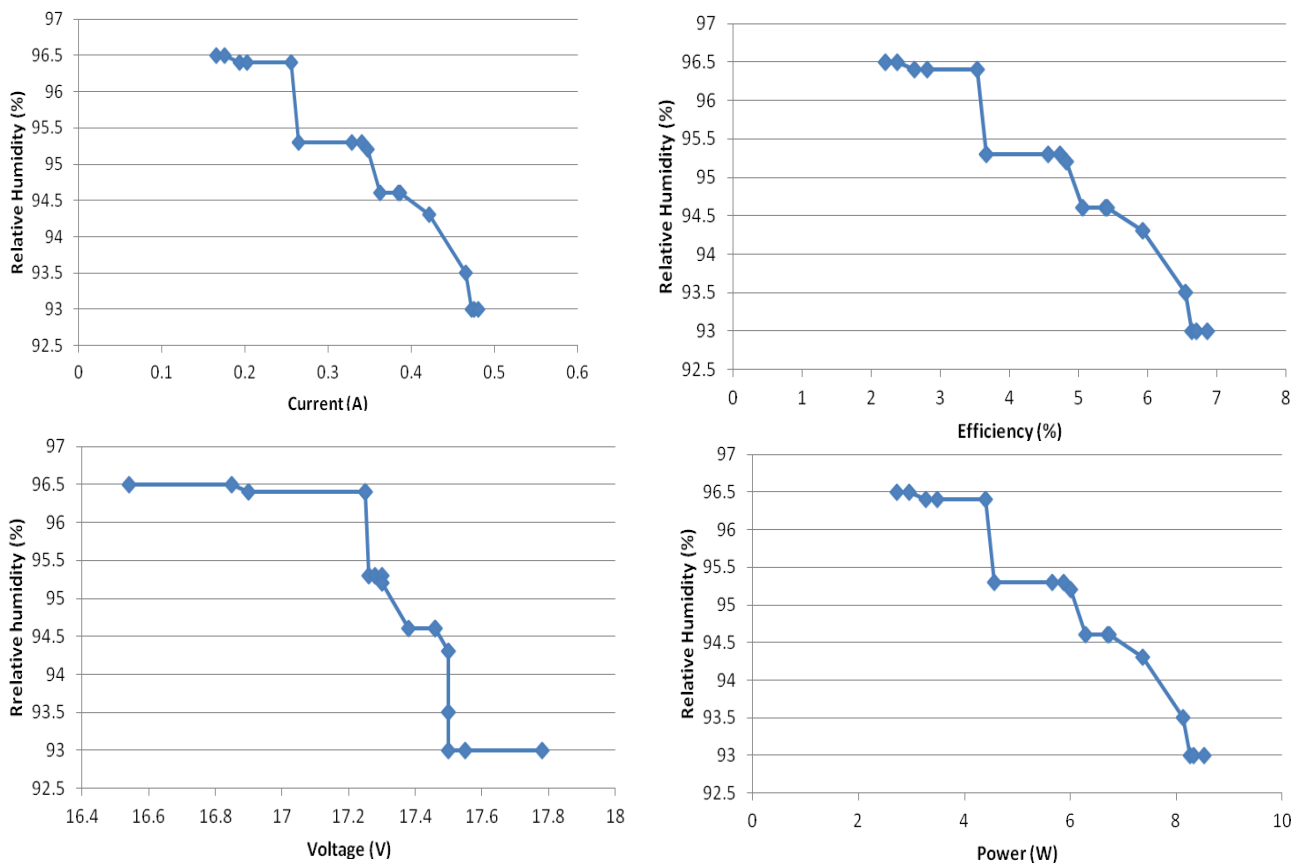


Figure 2-1 : Humidité relative par rapport au courant, à la tension, à la puissance et au rendement pour le PV poly cristallin.

2.6.2. Silicium amorphe :

On constate que lorsque l'humidité relative augmente, le courant et la tension relativement diminuent comme indiqué sur la Figure 2-2. Entre l'humidité relative de 93% et 96,5%, le courant est réduit de 0,4 A à 0,2a et la tension réduite de 31,0 V à 24.5v. De plus, la puissance et l'efficacité ont été calculées. On constate que la puissance et l'efficacité ont une proportionnalité inverse avec l'humidité.

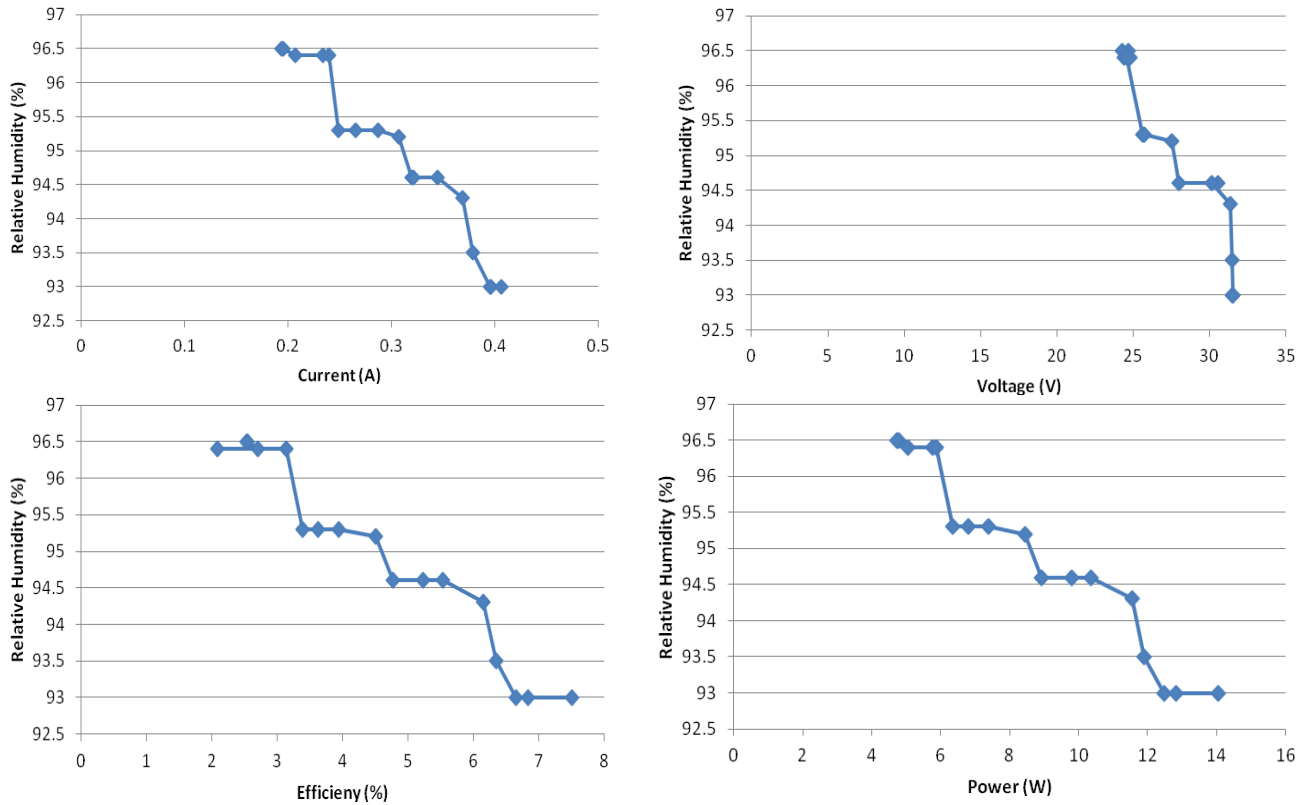
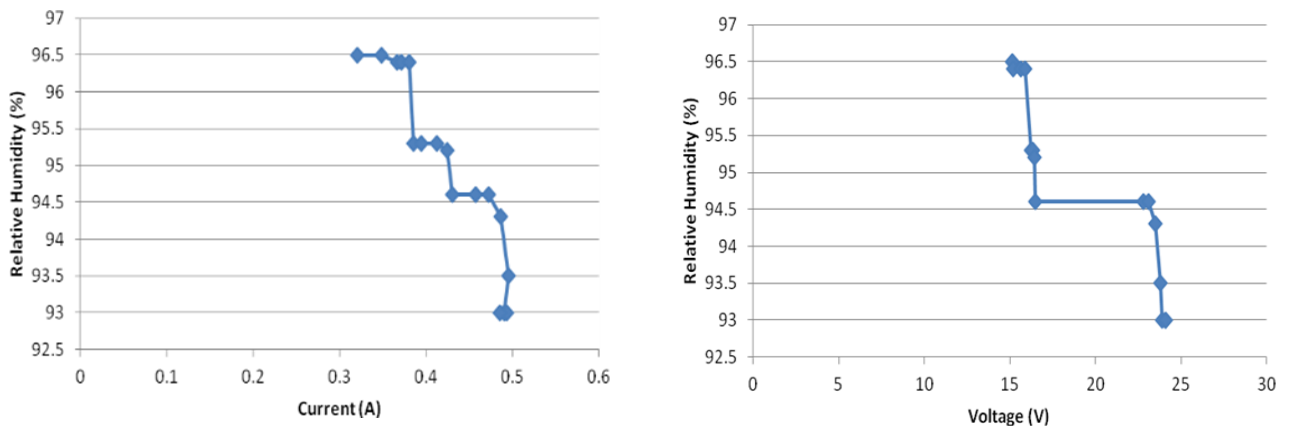


Figure 2-2 : Humidité relative par rapport au courant, à la tension, à la puissance et au rendement pour le silicium amorphe PV.

2.6.3. Monocristallin :

Le résultat montre la même tendance de la proportionnalité inverse entre l'humidité et la tension. La même chose appliquée pour le courant, la puissance et l'efficacité comme indiqué à la Figure 2-3.



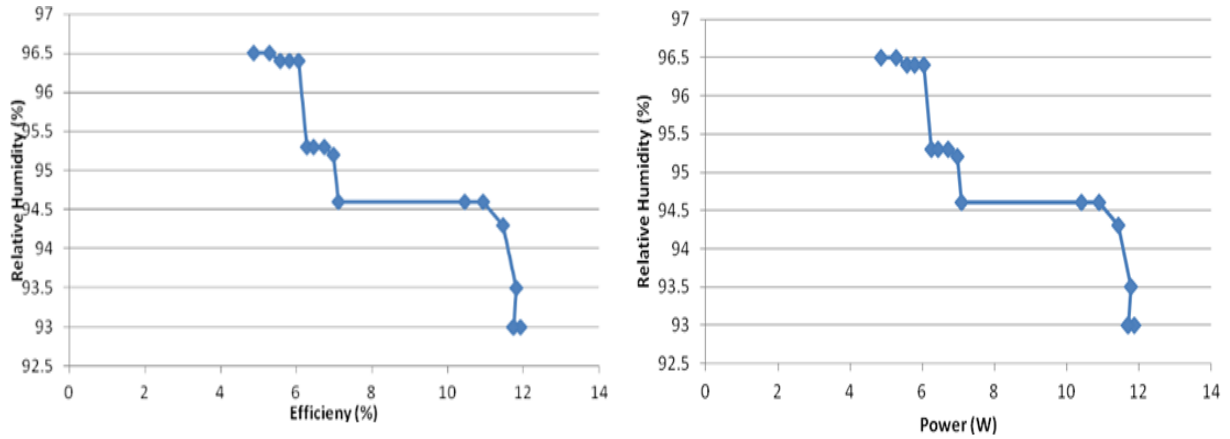


Figure 2-3 : Humidité relative par rapport au courant, à la tension, à la puissance et au rendement pour le PV monocristallin.

En outre, le résultat montre que l'efficacité est passée de 5% à 95,3% d'humidité relative et atteignant 12% à une humidité relative de 93%.

La figure 4 montre la relation entre l'humidité et l'efficacité de différentes technologies. En général, il a été constaté que l'efficacité des PV augmente avec la diminution de l'humidité. Il est clairement constaté que la monocristalline ait l'efficacité la plus élevée par rapport à d'autres types de technologie.

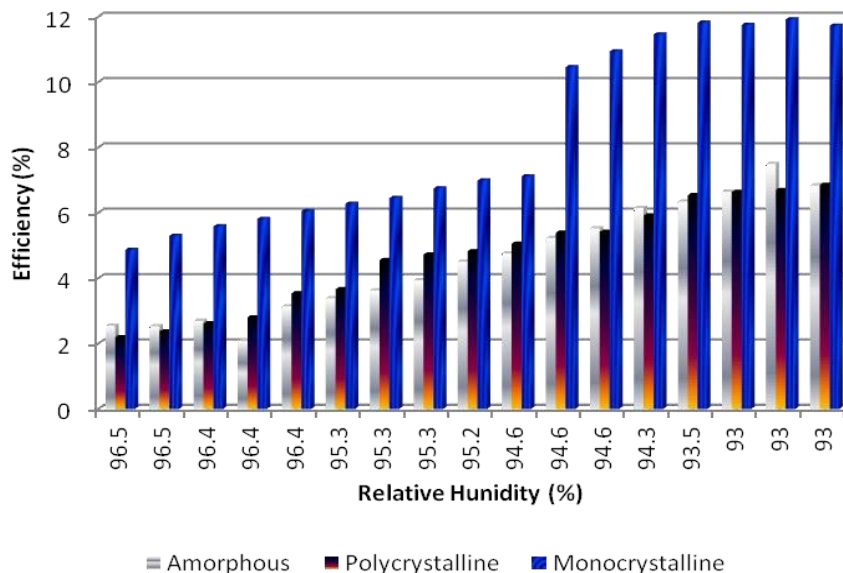


Figure 2-4 : Humidité relative par rapport au rendement pour les PV amorphes, poly cristallins et monocristallins.

Commentaire :

Les performances de photovoltaïque sont effectuées par certains des paramètres de l'environnement tels que la vitesse du vent, l'humidité de la poussière, la température, etc. Combien cet effet dépend de la quantité de paramètre et de la technologie PV.

Dans cette étude, trois types de photovoltaïque solaire ; Le silicium monocristallin, poly cristallin et amorphe a été étudié en plein air pour vérifier leur variation de performance en ce qui concerne l'humidité relative élevée.

L'humidité relative affecte l'efficacité du photovoltaïque à mesure qu'elle affecte le courant, la tension et la puissance. Le résultat montre que lorsque nous avons diminué en humidité relative, la tension, le courant et l'efficacité augmentent. En outre, on constate que le panneau monocristallin présente une efficacité la plus élevée lorsque l'humidité relative est réduite par rapport à d'autres technologies.

2.7. CONCLUSIONS

On a pris deux fiches techniques de même composant photovoltaïque (Panneaux, régulateur,) et faire l'étude technique et la comparaison entre eux, et déduire la différence, les points forts et les points faibles, avec prendre en considération l'étude technico-économique.

Chapter 03

Chapitre 3 : Les Critères de Choix des Compensants photovoltaïques disponibles en Algérie

3.1. Introduction :

Pour le dernier chapitre, Nous allons analyser des cahiers de charge réel des projets des installations photovoltaïques réalisés en Algérie, et les rectifier et deduire les criteres de choix des composants photovoltaïque comme la temperature, le rendement, l'humidité ...etc

3.2. Étude de cas :

3.2.1. Analyse du Cahier de Charge 1:

Voilà Un Cahier de Charge Réel, on va l'analyser et extrait les défauts et les problèmes de l'installation :

REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF

ACQUISITION ET INSTALLATION 04 KITS ÉNERGIE SOLAIRES A LOCALITE D'EL-K

N°	Désignation des travaux	U	Quantité	Pr
1	F/P Lot de Panneaux >=280 W y compris fixation et toutes sujétions de bonne exécution	U	4	
2	F/P lot de Batteries Solaires 200 Ah, y compris fixation et toutes sujétions de bonne exécution	U	4	
3	F/P Onduleur 1600W 24/220 VAC, y compris fixation et toutes sujétions de bonne exécution	U	1	
4	F/P Régulateur 50 A, y compris fixation et toutes sujétions de bonne exécution	U	1	
5	F/P Lot de Lampes à LED 09 W photovoltaïque + douille, y compris fixation et toutes sujétions de bonne exécution	U	4	
6	F/P Lot de (04 prises + 02 interrupteurs) y compris accessoires de raccordement et de branchement (cable + goulotte) et toutes sujétions de bonne exécution	U	1	
7	F/P Structure porteuse métallique, y compris socles en béton, Boulons de fixation et toutes sujétions de bonne exécution	U	1	
8	F/P Armoire électrique y/c ensemble des disjoncteurs de protection (AC/DC), accessoires de raccordement et de branchement (cable gaine DC 04 mm2 , AC 2,5 mm2 visserie , boulonnage) . y compris fixation et toutes sujétions de bonne exécution	U	1	
			TOTAL H.T.....	
			TVA 19%	

Figure 3-1 : Cahier de charge 1

Tableau 3-1 : Cahier de charge 1

N	Désignation des Travaux	U	Quantité
1	F/P Lot de Panneaux ≥ 280 W y compris fixation et toutes sujétions de bonne exécution.	U	4
2	F/P lot de Batteries solaires 200Ah y compris fixation et toutes sujétions de bonne exécution.	U	4
3	F/P Onduleur 1600W 24/220 VAC, y compris fixation et toutes sujétions de bonne exécution.	U	1
4	F/P Régulateur 50A, y compris fixation et toutes sujétions de bonne exécution.	U	1
5	F/P Lot de Lampes LED 09 W photovoltaïque + douille, y compris fixation et toutes sujétions de bonne exécution.	U	4
6	F/P Lot de (04 prises + 02 interrupteurs) y compris accessoires de raccordement et de branchement (cable + goulotte) et toutes sujétions de bonne exécution.	U	1
7	F/P Structure porteuse métallique, y compris fixation et toutes sujétions de bonne exécution.	U	1
8	F/P Armoire électrique y/c ensemble des disjoncteurs de protection (AC/DC), accessoires de raccordement et de branchement (cable fixation et toutes et toutes sujétions de bonne exécution.	U	1

1) Panneaux Photovoltaïque :

- Il n'a pas indiqué la puissance totale du générateur photovoltaïque et le type des panneaux photovoltaïque.

2) Les Batteries :

- Il n'a rien mentionné sur les batteries apart la capacité, il manque la tension et le type des batteries (AGM, GEL, Lithium...) et aussi le cyclage de profondeur de décharge.

3) L'Onduleur :

- Le type de l'onduleur (hybride, autonome ou connecté au réseau) n'est pas mentionné .

4) Régulateur :

- Il n'a pas mentionné la tension et le type du régulateur.

6) Les Câbles et Goulottes :

- Il manque le type du câble (AC ou DC) et le diamètre de la goulotte .

7) Structure Porteuse :

- Il manque les angles de la structure porteuse .

3.2.2. Analyse du Cahier de Charge 2 :

N°	Désignation des Travaux	Unit	Quantité
1	Fourniture et pose panneaux solaires 270w, Y compris toutes sujétions de bonne exécution	U	60
2	Fourniture et pose structure métallique galvanisé (support de trois barres H de 12 mètre ø140 avec cornière ø50 et H ø80 pour 30 panneaux) réglable, y compris accessoires (câblage, goulotte, ... etc.) Y compris toutes sujétions de bonne exécution	U	
3	Fourniture et pose onduleur 10KW quatre 48 volt 10000 VA 140 AMP 230 volt AC avec raccordement, y compris toutes sujétions de bonne exécution	U	2
4	Fourniture et pose batteries gamme de capacité 30-190 AH, produit 1 ^{er} choix, y compris toutes sujétions de bonne exécution	U	50
5	Fourniture et pose régulateur de charge de 1 à 3 selon capacité, y compris toutes sujétions de bonne exécution	U	2
6	Fourniture et pose tube à LED dim 1m20cm, y compris toutes sujétions de bonne exécution	U	400
7	Fourniture et pose câble électrique 1x10mm avec gaine à ressort et accessoire pour kit, y compris toutes sujétions de bonne exécution	ML	1200
8	Fourniture et pose d'une armoire électrique équipée d'appareillage de commandes de 1 ^{er} choix, y compris toutes sujétions de bonne exécution.	U	2
			TOTA
			T.V.

Figure 3-2 : Cahier de charge 2

Tableau 3-2 : Cahier de charge 2

N	Désignation des Travaux	Unit	Quantité
1	Fourniture et pose panneaux solaires 270W, Y Compris toutes sujétions de bonne exécution	U	60
2	Fourniture et pose structure métallique gualvanisé (Support de troix barres H de 12 métre Phi 140 avec conière phi 50 et H phi80 pour 30 panneaux) réglable, y compris toutes sujétions de bonne exécution.	U	2
3	Fourniture et pose onduleur 10KVA quatre 48 volt 10000VA 140 AMP 230 volt AC avec raccordement, y compris toutes sujétions de bonne exécution.	U	2
4	Forniture et pose batteries gamme de capacité 30-190 AH, produit 1 ^{er} choix, Forniture et pose	U	50
5	Forniture et pose régulateur de charge de 1 à 3 selon capacité, y compris toutes sujétions de bonne exécution.	U	2
6	Forniture et pose tube à LED dim 1m20cm, y compris toutes sujétions de bonne exécution.	U	400
7	Forniture et pose cable électrique 1x10mm avec gaine à ressort et accessoire pour kit, y compris toutes sujétions de bonne exécution.	ML	1200
8	Forniture et pose d'une armoire électrique équipée d'appareillage de commandes de 1 ^{er} choix, y compris toutes sujétions de bonne exécution.	U	2

1) Les Panneaux Photovoltaïques :

- Il n'a pas Indiqué le type des panneaux photovoltaïques (monocristallin, poly cristallin, amorphe.....).
- Pour quoi il a choisi les panneaux de 270W ? Ce n'est pas une norme pour choisir la puissance des panneaux photovoltaïques.
- Il n'a pas indiqué la puissance totale du générateur photovoltaïque.
- Si on choisit 60 panneaux de 270W, on a une puissance totale de 16200W, alors, on a des pertes au niveau de la puissance de (3800W) car on a deux onduleurs de 10KVA.

2) Câblage et article :

- Il n'a pas mentionné le diamètre.
- La longueur du câble est très longue, elle doit être la plus courte possible pour minimiser les pertes.
- Il n'a pas mentionné le type des câbles utilisés dans cette installation PV (câble à courant alternatif AC ou câble solaire DC).
- Il faut la longueur de goulotte et le diamètre et les dimensions.

3) L'Onduleur :

- Il faut mentionner le type d'onduleur (autonome, hybride ou connecté au réseau) et le type du signal de la sortie d'onduleur (sinusoïdale ou bien carrée).

4) Les Batteries :

- Il n'a pas mentionné les types des batteries (GEL, AGM, LITHIUM).
- Il n'a pas bien mentionné la capacité des batteries solaires (30-190Ah) et la tension des batteries.
- Le cyclage de profondeur de décharge.
- Il a commandé 50 batteries de, et on un système 48 Volts, il est irréalisable !

5) Le Régulateur de Charge :

- Il n'a rien mentionné sur le régulateur comme la tension (48V) et le courant, et le plus important est la commande (mppt ou PWM), dans cette installation il faut un régulateur avec une commande mppt pour minimiser les pertes sur la puissance (parce qu'elle est classé grande installation).

6) Les Tubes à LED :

- Il n'a pas mentionné la puissance des tubes à LED.

7) Câblage :

- Il n'a pas commandé un câble de 1200 mètres sans indication du type de fil (Câble DC ou AC).
- L'installation ne doit pas être loin.

8) Armoire :

- Il n'a pas indiqué les équipements de l'armoire comme le sectionneur, porte fusible, disjoncteur....

3.2.3. Analyse du Cahier de Charge 3:

Détail Quantitatif des Équipements			
Désignation	Unité	Quantité	P/UNITAIRE
F/P Générateur solaire 15000Wc	U	1	
F/P Boite de jonction	U	4	
F/P Structure porteuse	U	1	
F/P Coffret de distribution DC	U	1	
F/P Coffret de distribution AC	U	1	
F/P Onduleur solaire Hybride 48V 15kva	U	1	
F/P Régulateur MPPT 150V 100A	U	3	
F/P Câblage électrique solaire	-	Lot	
F/P Câble mise à la terre	-	Lot	
F/P Prise de terre	U	1	
F/P Lampes LED Solaire à économie d'énergie	U	160	
F/P Luminaires pour éclairage extérieur	U	10	
F/P Enregistreur de données (Datalogger -en option)	U	1	
F/P Abris pour l'installation des équipements électriques	U	1	
Batteries solaire à Gel 12v 200Ah	U	13	
			Montant Total H.T
			TVA 19%
			Montant en TTC

Figure 3-3 : Cahier de charge 3

Tableau 3-3 : Cahier de charge 3

Désignation	Unité	Quantité
F/P Générateur solaire 15000Wc	U	1
F/P Boite de jonction	U	4
F/P Structure porteuse	U	1
F/P Coffret de distribution AC	U	1
F/P Coffret de distribution DC	U	1
F/P Onduleur solaire hybride 48V 15kva	U	1
F/P Régulateur solaire MPPT 150V 100A	U	3
F/P Cablage électrique solaire	-	Lot
F/P Cable mise à la terre	-	Lot
F/P Prise de terre	U	1
F/P Lampes LED solaire à économie d'énergie	U	160
F/P Luminaires pour éclairage extérieur	U	10
F/P Enregistreur de données (Datalogger –en option)	U	1
F/P abris pour installation des équipements électriques	U	1
F/P Batteries solaire à Gel 12v 200Ah	U	13

Analyse du Cahier de Charge :**1) Les Panneaux Photovoltaïque :**

- Il n'a pas mentionné le type des panneaux photovoltaïque, Y compris toutes sujétions de bonne exécution.

2) Boite de jonction :

- Il n'a pas indiqué les équipements de la boite de jonction, Y compris toutes sujétions de bonne exécution.

3) Structure Porteuse :

- Il faut indiquer les matériaux, les dimensions et les angles utilisés dans la structure, Y compris toutes sujétions de bonne exécution.

4) Coffret de distribution DC :

- Il n'a pas indiqué les équipements de l'armoire DC comme le sectionneur, porte fusible, disjoncteur..., Y compris toutes sujétions de bonne exécution.

5) Cofret de Distribution AC :

- Il n'a pas indiqué les équipements de l'armoire AC comme le sectionneur, porte fusible, disjoncteur différentielle..., Y compris toutes sujétions de bonne exécution.

6) L'onduleur :

- Indiquer plus de details, comme la tension de sortie et la frequence de sortie de l'onduleur hybride ... ; Y compris toutes sujétions de bonne exécution.

7) Regulateur :

- Monque des sujétions de bonne exécution.

8) Cablage electrique Solaire :

- Il n'a pas indiqué le type (DC ou AC) et la section du cable electrique, Y compris toutes sujétions de bonne exécution.

9) Cable mis a la terre :

- Il a pas mentionné le diametre de pique de terre, Y compris toutes sujétions de bonne exécution.

10) Câble mis à la terre :

- Monque des sujétions de bonne exécution.

11) Lampes LED :

- Les lampes LED sans indication de puissance, Y compris toutes sujétions de bonne exécution.

12) Luminaires pour éclairage extérieur :

- Il n'a pas indiqué la puissance et le type (solaire ou normale) du luminaires, Luminaires pour éclairage extérieur :

13) Les Batteries :

- Monque d'information comme le profondeur de decharge, le cyclage, l'auto decharge.

3.3. Critères de Choix des Panneaux Photovoltaïques :

3.3.1. Le Rendement :

La surface du panneau solaire photovoltaïque dépend directement de la technologie utilisée dans les cellules du panneau Photovoltaïque, donc dépend du rendement de la cellule, on outre, les panneaux avec le silicium monocristallin ont le rendement le plus élevé par rapport aux autres technologies mentionnées précédemment avec un rendement de (~16-24%), suivie par le silicium polycristallin avec un rendement de (~16-21.5%), suivie par le Tellure de cadmium CdTe avec un rendement de (~18.2) ,et le silicium amorphe avec un rendement de (~7-10%) Alors, La surface disponible de pose (toiture, champs.....) dépend du rendement de la technologie utilisée, il diminue les dimensions du panneau.

3.3.2. La Puissance :

Les panneaux photovoltaïques ont différentes puissances crêtes, le choix de la puissance du panneau dépend de l'installation utilisée (grande, moyenne ou petite), on choisit des panneaux avec une grande puissance (+400 W) pour les grandes installations, des panneaux avec une moyenne puissance (200 – 300 W) pour les moyennes installations, et les panneaux avec une petite puissance (-200 W) pour les petites installations, pour diminuer le nombre des panneaux à utiliser, et aussi minimiser le coût, d'autre part, la puissance dépend de la surface de pose disponible (augmenter la puissance du panneau implique une surface moins, et vice versa), Ainsi, la puissance élevée réduit le nombre des câbles de raccordements et accélère le temps de charge des batteries.

3.3.3. La Température :

La température a un effet important sur les panneaux photovoltaïques dans les grandes installations, on a les panneaux CdTe les plus résistives aux températures élevées avec un coefficient de température sur la puissance de $\sim -0,25\%/^{\circ}\text{C}$, ils sont très recommandés pour les régions avec une haute température (comme le Sahara), les panneaux poly cristallins sont les moins résistives aux températures élevées avec un coefficient de température sur la puissance de $\sim -0.4\% / ^{\circ}\text{C}$, ils sont déconseillés pour les régions avec de haute température. Alors, il réduit la puissance crête avec une quantité importante dans les grandes installations (+30 Panneaux), mais il est négligeable pour les petites installations.

3.3.4. L'humidité :

En ce qui concerne l'effet de l'humidité, l'efficacité des panneaux PV augmente avec la diminution de l'humidité, le type monocristallin à l'efficacité la plus élevée par rapport à d'autres types de technologie. Les panneaux poly cristallins ont la plus faible résistance à l'humidité, donc ne sont pas un bon choix dans les sites humides.

3.4. Critères de Choix de Régulateur de Charge :

On Utilise des régulateurs avec une commande PWM pour les petites installations photovoltaïques (Maisonnette, maison, boutique ...), la Commande PWM a des pertes au niveau de la puissance mais elles sont négligeables par rapports aux petites installations photovoltaïque, Cependant, on Utilise les régulateurs avec une commande MPPT pour les grandes installations (lorsqu'on a une grande installations, la puissance est très élevée),on utilise les régulateurs avec une commande MPPT pour minimiser les pertes au niveau de la puissance avec son algorithme qui suivre le point de puissance maximale d'un générateur électrique (généralement photovoltaïques).

3.5. Critères de Choix des Batteries :

Les Batteries en AGM sont généralement utilisées dans les petites installations photovoltaïques à cause de leur durée de vie qui est faible et aussi ne résiste pas le décharge profond, alors que les Batterie en GEL sont utilisées généralement dans les grandes installations à cause de leur durée de vie qui est un supérieur au GEL, et aussi résiste au cyclage profond (peut être déchargées complètement). Cependant, les Batteries au Lithium sont les meilleurs de côté écologique, de la durée de vie, de l'énergie emagasinée.on peut les utilisée dans n'importe installation, mais leur cout est très chère.

3.6. Critère de choix de l'onduleur :

Le Choix l'onduleur dépend de type de l'installation, pour une installation autonome en choisit un onduleur autonome, pour une installation hybride en utilise un onduleur hybride et pour une installation connectée au réseau en utilise un onduleur connecté au réseau, le choix de l'onduleur dépend aussi de la puissance nécessaire pour alimenter les appareils électriques.

3.7. Conclusion :

On a analysé des cahiers de charge réel des installations photovoltaïque réel réalisé en algérie et les rectifier, afin de déterminer les critères réel de choix des composants phptovoltaïque pour bien choisir les composant photovoltaïque pour nos projet, a fin d'optimiser notre system et notre projet. Alors, Chaque projet a son etude special, chaque projet implique ses equipements spicials, Donc, on ne peut pas utiliser les equipement d'un projet dans un autre projet.

Conclusion Générale

En conclusion, dans ce projet on a bien déterminé les critères de choix des composants photovoltaïques.

Dans le premier chapitre, on a présenté des généralités sur l'énergie solaire, les composants et les types de composants photovoltaïques et ces différents types (Panneaux, régulateur, ..), Ainsi, les types des systèmes photovoltaïques (autonome, hybride, ...)

Dans le deuxième chapitre, on a pris de lire des fiches techniques des différents types des composants photovoltaïques de différentes marques disponibles en Algérie, et faire comparer ces fiches techniques, afin de choisir les bons composants correspondant à notre installation.

Dans le dernier chapitre, nous avons analysé des cahiers de charge réels des installations réalisées en Algérie, et apprendre de lire les cahiers de charge, afin de définir les critères de choix des composants photovoltaïques pour notre installation photovoltaïques pour être bien optimisée et efficace.

D'après cette étude, on a conclu que chaque projet a son étude technique des composants photovoltaïques (chaque composant a son application) à cause de plusieurs facteurs comme la température, l'humidité, puissance, la surface ..., sans oublier l'étude technico-économique

On peut améliorer cette étude par prendre en considération plusieurs facteurs qui influencent sur les installations photovoltaïques comme le vent, la température, l'humidité... afin de développer un programme de dimensionnement photovoltaïque plus approfondi et optimisé que les autres programmes connus dans le domaine.

Bibliographie et Webographie

Bibliographique

- [1] Kothari DP, Singal KC, Ranjan R. Renewable Energy Sources and Emerging Technologies. New Delhi: PHI Learning Pvt. Ltd., 2011, 2.
- [2] Kishore VVN. Renewable Energy Engineering and Technology: principles and practice. New Delhi: Teri, 2008
- [3] Solanki CS. Photovoltaic-Fundamentals, Technologies and Applications. New Delhi: PHI Learning Pvt. Ltd., 2011.
- [4] Boxwell Michel. Solar Electricity Handbook. United Kingdom: Greenstream Publishing, 2010.
- [6] Mayfield Ryan. Photovoltaic Design & Installation for Dummies. New Jersey: Wiley Publishing Inc., 2019.
- [8] T. Markvart, L. Castañer, “Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications” Oxford: Elsevier Advanced Technology, 2003
- [9] A. Luque, S. Hegedus, “Handbook of Photovoltaic Science and Engineering”, Wiley, New York (2003)
- [10] H.P. Ladner-Garcia, E. O’Neill-Carrillo, “Demonstrative PV Systems for an Isolated System”, in Proceedings of the 10th IASTED International Conference on Power and Energy Systems, 2008
- [11] Global Solar Atlas. Available at: <https://globalwindatlas.info/> (Retrieved 4 December 2018).
- [12] Singh, J. (2010), “Study and Design of Grid connected Solar PV system at Patiala,” Unpublished MSc Thesis Report, Thapia University, Patiala – India, 94pp
- [13] Sauder, E. M. (2008), “Development of an appropriate Solar and Wind Hybrid Charging Station for Electric Vehicles in Developing Countries”, Unpublished MSc Thesis Report, Pennsylvania State University, USA, 81pp.
- [14] Dunlop, H., Nilsen, Riisem, E., Skåre, D., Salomatova, O. (2006), “The History Highlight of Solar Cells, www.org.ntu.no/solarcells/pages/history.php.de/solarcount.com.html, Accessed: December 5, 2012.
- [15] D. Hoyos, “Análisis, diseño y construcción de un controlador fotovoltaico”, Publicación de Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, vol. 9, pp. 1-6, 2005.
- [16] Y. Yang, Y. Qing, L. Tung, M. Greenleaf, and L. Hui, “Integrated Size and Energy Management Design of Battery Storage to Enhance Grid Integration of Large-scale PV Power Plants”, IEEE Transactions on industrial electronics, 2017. DOI: 10.1109/TIE.2017.2721878

- [17] Solanki CS. Photovoltaic-Fundamentals, Technologies and Applications. New Delhi: PHI Learning Pvt. Ltd., 2011.
- [19] R. Kannan, K. Leong, R. Osman, "Life Cycle Assessment" study of solar PV systems: An example of a 2.7 kWp distributed solar PV system in Singapore", Science Direct, 2005.
- [20] Mohanty Parimita, Muneer Tariq, Kolhe Mohan. Solar Photovoltaic System Applications. Cham: Springer International Publishing AG, 2015.
- [21] Kishore VVN. Renewable Energy Engineering and Technology: principles and practice. New Delhi: Teri, 2008.
- [25] Dradi, M. (2007), "Design and Techno-Economical Analysis of a Grid Connected with PV/Wind Hybrid System in Palestine (Atouf Village-Case study)", Unpublished MSc Thesis Report, An-Najah University, Palestine, 117pp.
- [26] Anonymous, Uni-solar, Solar energy produces catalog and brochures, USA, 2001.
- [27] E. B. Ettah, A. B. Udoimuk, J. N. Obiefuna, and F. E. Opara, "The Effect of Relative Humidity on the Efficiency of Solar Panels in Calabar, Nigeria", Universal Journal of Management and Social Sciences, Vol. 2, No. 3, March 2012, pp. 8-11.
- [28] Olusegun A., Bola A., Goh C. L. and Ohiwerei I, "Certificate Physical and Human Geography for Senoir Secondary Schools", University Press, Nigeria, 1980, pp. 201-202.
- [29] September 2012 ATE-20215047©Asian-Transactions 29. Effect of Humidity on the PV Performance in Oman.

Webographie

- [5] MNRE. "Physical Progress", 2020. Accessed September 30. <https://mnre.gov.in/the-ministry/physical-progress>.
- [7] NISE. "Annual Report", 2019. <https://nise.res.in/>.
- [18] MNRE. "Physical Progress", 2020. Accessed September 30. <https://mnre.gov.in/the-ministry/physical-progress>.
- [23] IRENA. Global Energy Transformation: A roadmap to 2050, 2019. <https://www.irena.org/>.
- [24] The World Bank. "Energy." Updated October 03, 2018. <https://www.worldbank.org/>.

Annexes

Fiche de contrôle de la qualité :

Type du Panneau					
Marque					
	Valeur	état			Commentaire
		Bon	Moyenne	Mauvais	
Efficacité du module					
STC (1000 W/m² AM 1.5, 25°C)					
Puissance de crête (Pmax)					
Tension d'alimentation Vmp (V)					
Courant de puissance Imp (A)					
Tension de circuit ouvert Voc (V)					
Courant de court-circuit Isc (A)					
Coefficients de température de Pmax					
Coefficients de température de Voc					
Coefficients de température de Isc					
Tolérance					
NOCT (800 W/m² AM 1.5, 45°C)					
Puissance de crête (Pmax)					
Max. Tension d'alimentation Vmp (V) Max.					
Courant de puissance Imp (A) Tension de circuit ouvert Voc (V)					
Courant de court-circuit Isc (A)					
Tolérance de puissance					
Poids					
Durée de vie					
Dimensions					
Prix					

Type d'Onduleur					
Marque					
	Valeur	état			Commentaire
		Bon	Moyenne	Mauvais	
PUISSANCE NOMINALE					
Puissance de surtension					
Tension de sortie CA					
Fréquence					
Plage de tension d'alimentation DC					
Tension d'entrée AC					
Efficacité					
Plage de température d'exploitation					
Humidité (sans condensation)					
Poids					
Dimensions (HxLxP en mm)					
Voltage de batterie					
Type de batterie					
Puissance maximale du générateur PV					
VCO Max					
Courant de charge solaire maximal					
Courant de charge					
Courant de charge					
Prix					

Type de Régulateur

Type de Régulateur					
Marque					
	Valeur	état			Commentaire
		Bon	Moyenne	Mauvais	
Tension de la batterie					
Autoconsommation					
Tension à vide du panneau photovoltaïque					
Courant du panneau					
Température de fonctionnement					
Degré de protection					
Dimensions (X x Y x Z)					
Poids					
Humidité (sans condensation)					
Auxiliaire					
Sortie de la deuxième batterie					
Prix					

Type de Batterie

Type de Batterie					
Marque					
	Valeur	état			Commentaire
		Bon	Moyenne	Mauvais	
Tension de la batterie					
Capacité					
Courant de charge Max					
Courant de décharge Max					
Capacité nominal					
Cyclage de décharge (% de décharge)					
Auto décharge					
Dimensions (X x Y x Z)					
Température de fonctionnement					
Émissions de gaz					
Dégradation en fonction de température					
Poids					
Prix					