

**République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**UNIVERSITE AHMED DRAIA ADRAR  
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MATIERE**



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
DE MASTER EN PHYSIQUE ENERGETIQUE ET ENERGIE RENOUEVABLE**

## **Thème**

**La synchronisation d'un générateur photovoltaïque  
connecté au réseau électrique**

**Soutenu le : 14 / 06 / 2017**

**Présenté par : OULD BAHAMMOU Abdelkader**

**Encadré par : Pr. BENATIALLAH Ali**

**Président : Dr. BOUSSEKAIA Taher**

**Examineurs : Mr. HARRROUZ Abdelkader**

**2016 - 2017**

## REMERCIEMENTS

AVANT TOUT, JE REMERCIE **ALLAH**, LE TOUT PUISSANT, DE M'AVOIR DONNÉ LE COURAGE ET LA VOLONTÉ POUR ACCOMPLIR CE TRAVAIL.

NOUS TENONS À REMERCIER NOS ENCADREUR **Pr. ALI BENATIALLAH** D'AVOIR POSÉ UN SUJET TRÈS INTÉRESSÉ ET POUR LEURS CONSEILS, LEUR DISPONIBILITÉ ET POUR NOS AVOIR FAIT PROFITER DE LEURS CONNAISSANCES ET DE LEURS QUALITÉS TANT PROFESSIONNELLES QU'HUMAINES.

J'AI REMERCIER AUSSI Dr. **YAICHI MOHAMED** POUR LA FORMATION DU STAGE.

RESPECTUEUX REMERCIEMENTS À L'ENSEMBLE DES MEMBRES DU JURY POUR L'INTÉRÊT PORTÉ SUR MON TRAVAIL.

## DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail :*

*À mes très chers parents, que dieu les garde et les protège pour leurs  
soutien moral et financier, pour leurs encouragements et les sacrifices  
qu'ils ont endurés.*

*À mes frères*

*À ma sœur*

*À mes grandes familles OULDBAHAMMOU et BELBALI*

## **Plan de travail**

Remerciements .....	i
DEDICACE.....	ii
Plan de travail .....	iii
Liste des tableaux .....	vi
Liste des figures .....	vi
résumé.....	viii
INTRODUCTION GENERAL.....	1
<b>CHAPITRE 1</b>	
1.1 Introduction.....	2
1.2. Le soleil.....	2
1.3. Coordonnées géographiques.....	4
1.4. Coordonnées célestes horizontales.....	5
1.5. Coordonnées célestes horaires.....	6
1.6. Mouvement de la terre autour du soleil.....	7
1.7. Mouvement apparent du soleil.....	8
1.8. Rayonnement solaire sur un plan horizontal.....	9
1.9. Gisement solaire en Algérie.....	10
1.10. Conclusion.....	12
<b>CHAPITRE 2</b>	
2.1. Introduction.....	13
2.2. Effet photovoltaïque.....	13
2.3. Cellule photovoltaïque.....	14
2.4. Semi conducteur.....	14
2.5. Principe de la conversion photoélectrique.....	15
2.6. Le module photovoltaïque.....	16

2.7. Panneau solaire.....	17
2.8. Différents types de cellules solaires.....	19
2.9. Paramètres des cellules photovoltaïques.....	20
2.10. Influence de paramètres sur la caractéristique de la cellule photovoltaïque.....	22
2.11. Regroupement des cellules.....	22
2.12. Convertisseur.....	24
2.13. Structure générale d'un système photovoltaïque connecté au réseau.....	33
2.14. Régulateur de charge.....	35
2.15. Stockage.....	36
2.16. Conclusion.....	37
<b>CHAPITRE 3</b>	
3.1. Introduction.....	38
3.2. Réseau électrique.....	38
3.3. Qualité de l'énergie électrique.....	39
3.4. Qualité du courant.....	40
3.5. Classification d'un système solaire photovoltaïque.....	41
3.6. Structures des systèmes photovoltaïques raccordés au réseau.....	43
3.7. Connexion direct entre la source et la charge.....	45
3.8. Principe de fonctionnement de MPPT.....	45
3.9. Synchronisation au réseau.....	48
3.10. Conclusion.....	49
<b>CHAPITRE 4</b>	
4.1. Introduction.....	50
4.2. SONELGAZ : .....	50
4.3. Shariket Kahraba wa Taket Moutadjadida (SKTM).....	51
4.4. Caractéristiques des composants de la centrale.....	52
4.5. Conclusion.....	56

CHAPITRE V :	
5.1. Introduction.....	57
5.2 Etudes réel des installations photovoltaïques. SKTM Unité d'Adrar.....	57
5.3 Conclusion.....	62
CONCLUSION GENERALE.....	63
Bibliographique.....	64
Notation.....	65

## **Liste des tableaux :**

**Tableau I.2.** Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques

**Tableau 1.1 :** Caractéristiques principales du soleil [1]

**Tableau 4.1 :** Caractéristiques de 2015

**Tableau 4.2 :** Caractéristiques électriques des panneaux en silicium poly-cristallin

**Tableau 4.3 :** Caractéristiques électriques de la boîte parallèle

**Tableau 4.4 :** Caractéristiques électriques de la boîte générale

**Tableau 4.5 :** Caractéristiques électriques de l'onduleur

**Tableau 4.6 :** Caractéristiques électriques du transformateur principal

## **Liste des figures :**

**Figure 1.1:** Structure du soleil

**Figure I.2:** coordonnées géographiques

**Figure I.3.** Les coordonnées célestes horizontales

**Figure 1.4:** Repère équatorial

**Figure 1.5:** Le mouvement de la terre autour du soleil.

**Figure 1.6:** Mouvement apparent du Soleil observé d'un point de latitude L

**Figure I.7** Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel

**Figure I.8** Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu

**Figure I.9** Répartition territoriale des stations météorologiques en A

**figure 2.11:** exemple de convertisseur DC/DC vers le haut

**figure 2.12:** convertisseur typique DC/DC vers le bas.

**figure 2.13:** Circuit simple utilisant un pont de transistors

**figure 2.14:** Filtrage de la tension par l'inductance de sortie .

figure 2.15: Typologie des systèmes Onduleur Centralisé .

**figure 2.16:** Typologie des systèmes Onduleur Chaîne

**Fig.2.17:** Typologie des systèmes Onduleur Chaîne

**Fig.2.19 :** Architecture du système PV avec un bus en courant alternatif (AC).

**Fig.2.20:** Architecture du système PV avec un bus en courant continu (DC)

Figure 3.1: Schéma générale de production, transport et distribution de l'énergie électrique

**Figure 3.2:** Exemple de la structure d'un système PV autonome

**Figure 3.3:** Hacheur élévateur de tension avec onduleur centralisé

**Figure 3.4:** Différentes topologies des installations PV connectés aux réseaux électriques.

**Figure 3.5 :** Connexion directe entre un GPV et une charge.

**Figure 3.6:** Points de fonctionnement d'un GPV en connexion directe, en fonction de la charge.

**Figure 3.7:** La caractéristique I-V, P-V et la trajectoire de PPM

**Figure 3.8:** Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque.

**Figure 3.9:** Bloc diagramme d'un contrôleur MPPT pour un système photovoltaïque

**Figure 3.10:** Classification des différentes méthodes de poursuite du PPM

**Figure 3.11 :** Raccordement en parallèle de 2 sources d'énergie

**Figure 3.12 :** Schéma de la centrale de production d'électricité PV



## résumé

Dans cette mémoire, nous allons parler de connecter le système d'énergie solaire au réseau électrique, et va étudier la production de l'énergie solaire PV par rapport à un réseau électrique et notez le changement de la production d'électricité de réseau électrique par rapport à la charge.

Où il sera affiché gisement solaire et système PV sur le premier et le deuxième chapitre, ainsi que la qualité de l'énergie électrique, l'onduleur, l'hacheur et le but du système MPPT.

Et en fin, on expose cette étude dans le dernier chapitre.

La production électrique est important, mais elle est plus cher ; pour une solution économique, il faut utiliser des énergies renouvelables (propre, gratuit et économique) comme l'énergie éolienne et l'énergie photovoltaïque pour profité le maximum de cet énergie au même temps décroît les énergies fossile par les énergies injection d'un centrale énergies renouvelables connecter au réseau

## ملخص

في هذه المذكرة سنتكلم عن ربط نظام الطاقة الشمسية بالشبكة الكهربائية وسيتم دراسة انتاج الطاقة الكهربائية بالطاقة الشمسية

مقارنه مع الشبكة الكهربائية ، و ملاحظه التغيير على الانتاج الخاص بالشبكة الكهربائية مقارنه بكميه الكهرباء المطلوبة حيث سيتم عرض الإشعاع الشمسي و النظام الكهروضوئي على الفصل الاول والثاني وكذلك نوعيه الطاقة الكهربائية و المموج و الهدف من نظام MPPT

كذلك تعريف الشركه الوطنيه سونلغاز وكذلك SKTM وخصائص المكونات الخاصة بها في الفصل الرابع

وفي الأخير سنعرض محتويات الدراسة على الفصل الاخير



# INTRODUCTION GENERAL

---

## INTRODUCTION GENERAL

La consommation durant le siècle dernier a considérablement augmentée à cause de l'industrialisation massive. La grande partie de l'énergie consommée provient des combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon, ... etc.) dont l'utilisation massive peut conduire à l'épuisement de ces réserves et menace réellement l'environnement. Cette menace c'est manifesté principalement à travers la pollution et le réchauffement global de la terre par effet de serre. En effet, la grande préoccupation du monde actuel est d'atténuer cette pollution par l'adaptation des sources d'énergie classiques à des critères très sévères et par l'utilisation des énergies renouvelables.

Les énergies renouvelables se manifestent comme une solution potentielle à la réduction de la pollution. Parmi les moyens de production prometteurs (éolien, hydraulique...), le photovoltaïque (PV) apparaît aujourd'hui comme le plus approprié et le plus abouti à la production d'électricité d'origine renouvelable pour l'habitat. Ajoutons à cela la libéralisation du marché de l'électricité qui introduit des changements majeurs dans le domaine de l'énergie.

Le système PV raccordé à un réseau peut servir à fournir d'importantes quantités d'énergie, cependant, cela nécessite un énorme investissement qui rend le coût de l'électricité produite très élevé.

Notre objectif dans ce présent travail est l'étude de l'impact de l'injection d'un générateur photovoltaïque connecté au réseau électrique.

# CHAPITRE 1: GISEMENT SOLAIRE

---



## 1. Introduction

Issue de la nature, l'énergie se présente sous deux formes:

- Les énergies non renouvelables, qui sont d'origine fossile, le pétrole, le charbon, le gaz sont parmi les plus connues.
- Les énergies renouvelables, dont les plus importantes sont : le solaire, l'éolien, la géothermie. Elles trouvent leurs sources dans les différents flux énergétiques naturels incidents sur la terre, qui sont essentiellement :
  - Le rayonnement solaire, qui procure 99,97% de sa densité thermique.
  - La chaleur interne terrestre, qui procure 0,03% de sa densité thermique.
  - Les forces de gravitation.

Parmi toutes les énergies renouvelables, l'énergie solaire est la plus éminente, elle est également à l'origine de la plupart des sources d'énergies utilisées par l'homme.

L'énergie solaire atteignant une surface donnée dépend directement de l'orientation de celle-ci et de la position du soleil. Pour récupérer un maximum d'énergie en provenance du soleil, il est nécessaire d'orienter au mieux le récepteur par rapport aux rayons lumineux. La connaissance de la position du soleil en fonction du temps est donc fondamentale [1].

### 1.2. Le soleil

Le soleil est à l'origine de toute source d'énergie sur terre. Ceci étant vrai autant pour les énergies non renouvelables d'origine fossile, comme les hydrocarbures qui sont le résultat de la photosynthèse ; que pour les énergies renouvelables, comme l'énergie solaire, l'énergie géothermique, la biomasse...etc. [2]

Comparable à une immense boule de gaz très chaud, le soleil est une étoile naine de forme pseudo-sphérique qui se compose principalement de 80% d'hydrogène et de 19% d'hélium, le 1% restant étant un mélange de plus de 100 éléments chimiques,

Bien que le soleil soit une étoile de taille moyenne, il représente à lui seul 99,9% de la masse du système solaire qui est dominé par les effets gravitationnels de l'importante masse du soleil. [2]

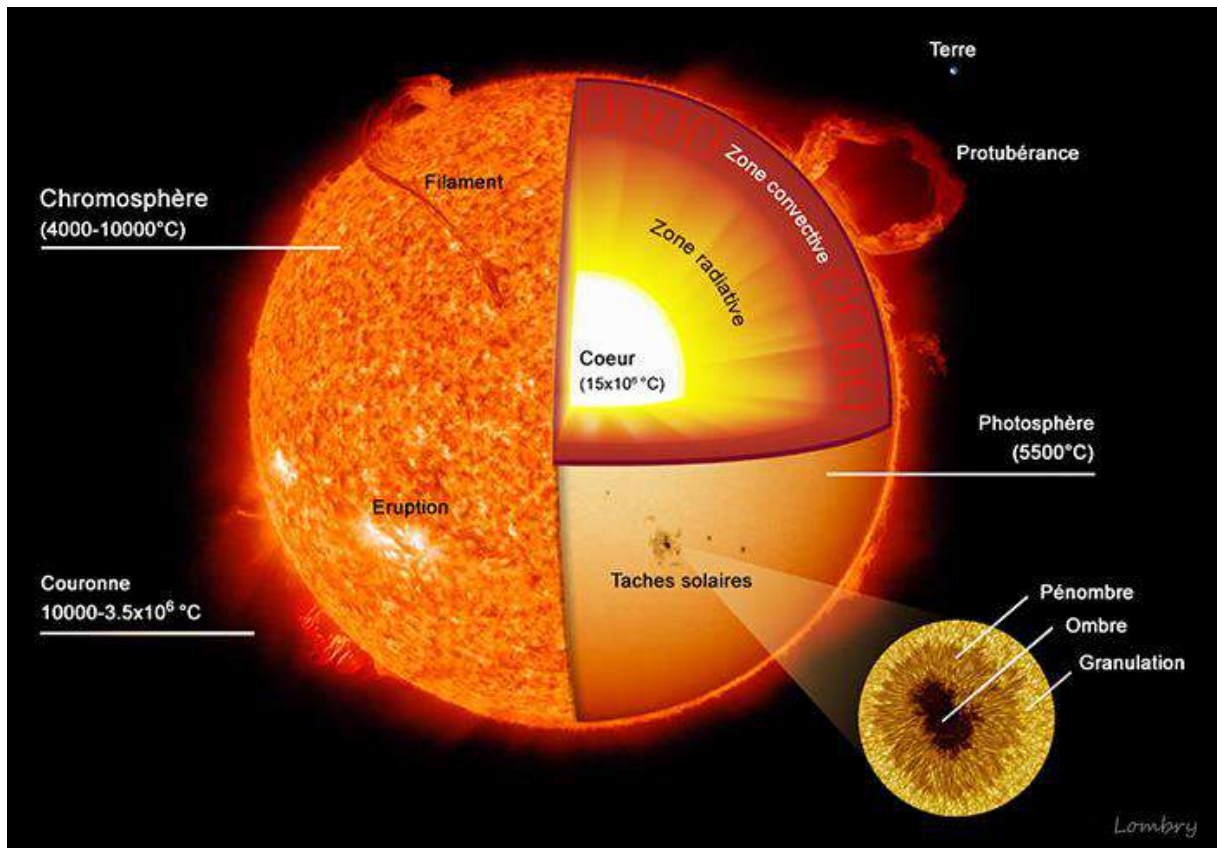
Les principales caractéristiques du soleil sont illustrées dans le tableau ci-dessous :

Caractéristique	Valeur
Masse	$1,989.10^{30}$ kg
Masse volumique moyenne	1410 kg/m <sup>3</sup>
Diamètre	$13,92.10^5$ km
Distance du centre de la voie lactée	$2,5.10^{47}$ km
Vitesse	217 km/s
Température superficielle	5770 k
Puissance rayonnée	$3,83.10^{23}$ kw

**Tableau 1.1** : Caractéristiques principales du soleil [1]

- 1- **L'intérieur du soleil** : cette région est divisée en trois zones ; le noyau, la zone radiative et la zone convective. Elle représente 40% de la masse du soleil et elle s'étend sur une épaisseur de 25.104 km. Sa température atteint plusieurs millions de degrés et la pression un milliard d'atmosphère.
- 2- **2- La photosphère** : C'est une couche opaque d'environ 300 km d'épaisseur. Sa température est de l'ordre de quelques millions de degrés, décroissante très rapidement dans l'épaisseur de la couche jusqu'à une température dite de surface de l'ordre de 4500°C.
- 3- **3- La chromosphère et la couronne solaire** : C'est une région à faible densité ou la matière est très diluée, elle représente l'atmosphère du soleil. Cette couche est caractérisée par un rayonnement émis très faible est très élevée (environ un million de degrés) [2].





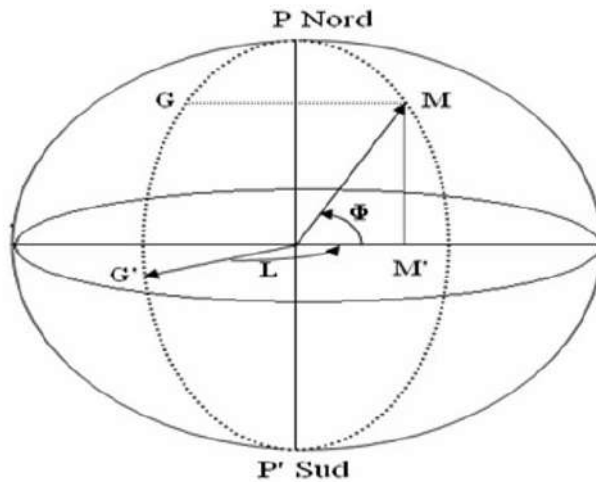
**Figure 1.1:** Structure du soleil

### 1.3. Coordonnées géographiques

Ce des coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre.

**1.3.1. L'altitude  $\varphi$  :** C'est l'angle que fait le plan de l'équateur avec la direction reliant le centre de la terre au point considère. L'équateur terrestre est donc caractérisé par une latitude égal à  $0^\circ$ , le pôle nord par la latitude  $+90^\circ$  et la pole sud par la latitude  $-90^\circ$  [3]

**1.3.2. Longitude  $\lambda$  :** C'est l'angle que fait le méridien local passant par le point considéré avec le méridien d'origine passant par la ville de Greenwich. On a choisi pour méridien (origine  $0^\circ$ ), le plan passant par l'observatoire de Greenwich. Par convention on affecte du signe (+) le méridien situé à l'est de ce méridien, et du signe (-) les méridien situé à l'ouest. [3]



**Figure I.2:** coordonnées géographiques

La latitude ( $L$ ) est l'angle avec le plan équatorial que fait le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu, elle varie entre  $+90^\circ$  au pôle Nord et  $-90^\circ$  au pôle Sud. [4]

## 1.4. Coordonnées célestes horizontales

### 1.4.1. Azimute $\alpha$

C'est l'angle que fait la projection du soleil sur le plan horizontal avec la direction du Sud et il désigne l'orientation de la surface de telle sorte que: [5]

$\alpha = -90^\circ$  pour une orientation Est

$\alpha = 0$  pour une orientation Sud

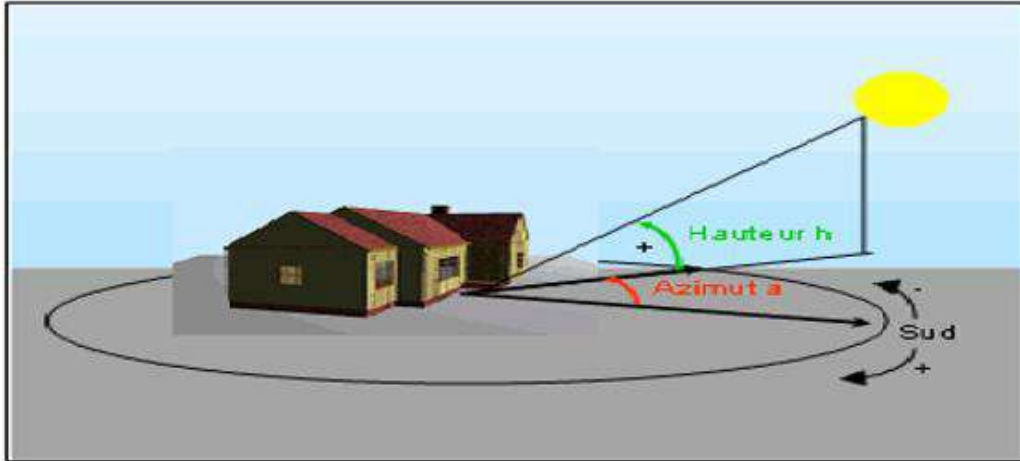
$\alpha = 90^\circ$  pour une orientation Ouest

$\alpha = 180^\circ$  pour une orientation Nord

### 1.4.2. Hauteur du soleil (h)

Est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur un plan horizontal (figure I.5), elle est donnée par la formule [4]:

$$\sin(h) = \sin(L) \times \sin(d) + \sin(L) \times \cos(d) \times \cos(\omega)$$



**Figure I.3.** Les coordonnées célestes horizontales

### 1.5. Coordonnées célestes horaires

Le mouvement du soleil est repéré par rapport au plan équatorial de la terre à l'aide de deux angles ( $\delta, H$ ) (Fig.2.3).

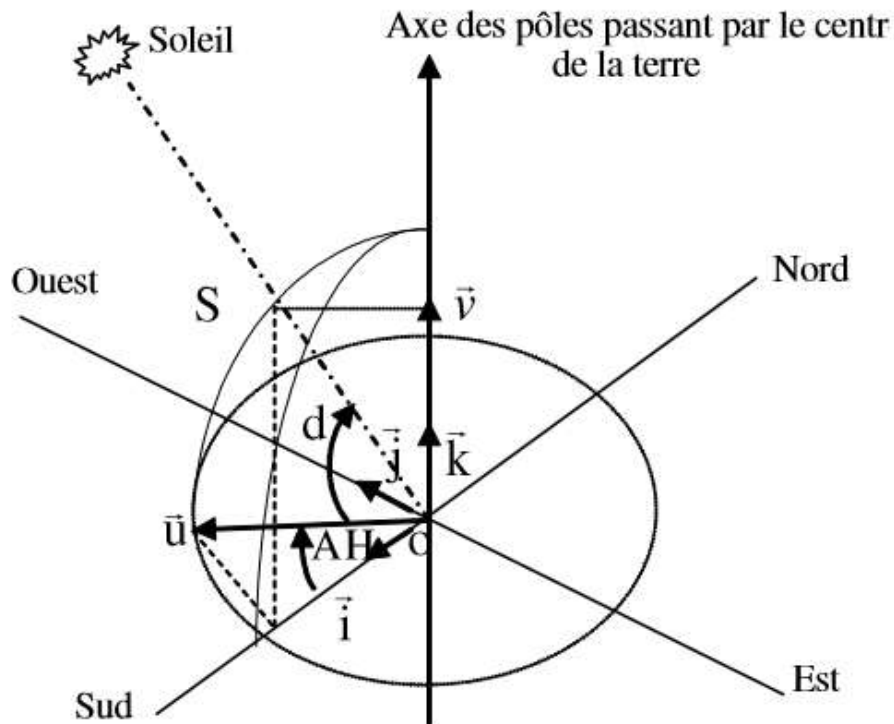
#### 1.5.1. Angle horaire du soleil

C'est l'angle compris entre la méridienne origine passant par le sud et la projection du soleil sur le plan équatorial, il mesure la course du soleil dans le ciel. [6]

$$H = 15 (\text{TSV} - 12) \quad (2.7)$$

Dans le modèle R.sun, l'angle horaire est donné par l'équation suivante:

$$H = 0.261799 \times (\text{TSV} - 12) \quad (2.8)$$



**Figure 1.4:** Repère équatorial

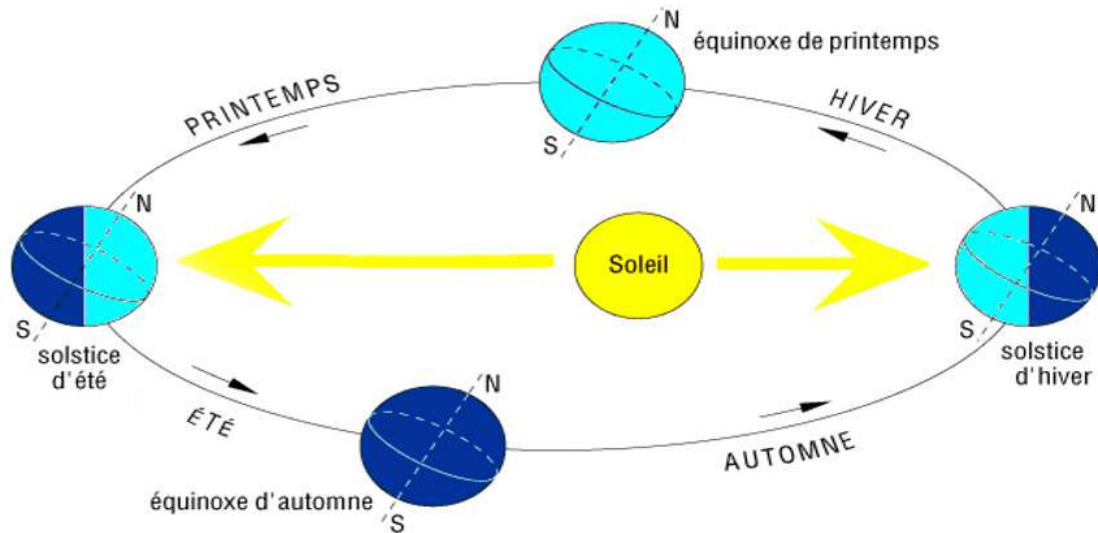
## 1.6. Mouvement de la terre autour du soleil

Le mouvement de la terre autour du soleil s'effectue dans un plan nommé le plan de l'écliptique. L'axe des pôles, autour duquel s'effectue le mouvement de rotation de la Terre, n'est pas perpendiculaire au plan de l'écliptique. [5]

Le centre de gravité de la terre décrit une ellipse dont le soleil occupe l'un des foyers Figure 1.1.

La terre tourne sur elle-même autour de l'axe des pôles et le plan équatorial, perpendiculaire à cet axe. Ainsi, la rotation et l'inclinaison de la Terre font également que l'énergie disponible en un point donné varie selon la latitude, l'heure et la saison. Elle tourne autour du soleil en 365 jours 5h 48 mn 40s  $\approx 365,25$  jours.

La terre tourne avec une vitesse moyenne 29,77 Km/s (vitesse maximale en hiver 30,27 Km/s et minimale en été 29,77 Km/s). Ce mouvement s'effectue dans le sens trigonométrique et provoque le cycle des saisons. [5]



**Figure 1.5:** Le mouvement de la terre autour du soleil.

## 1.7. Mouvement apparent du soleil

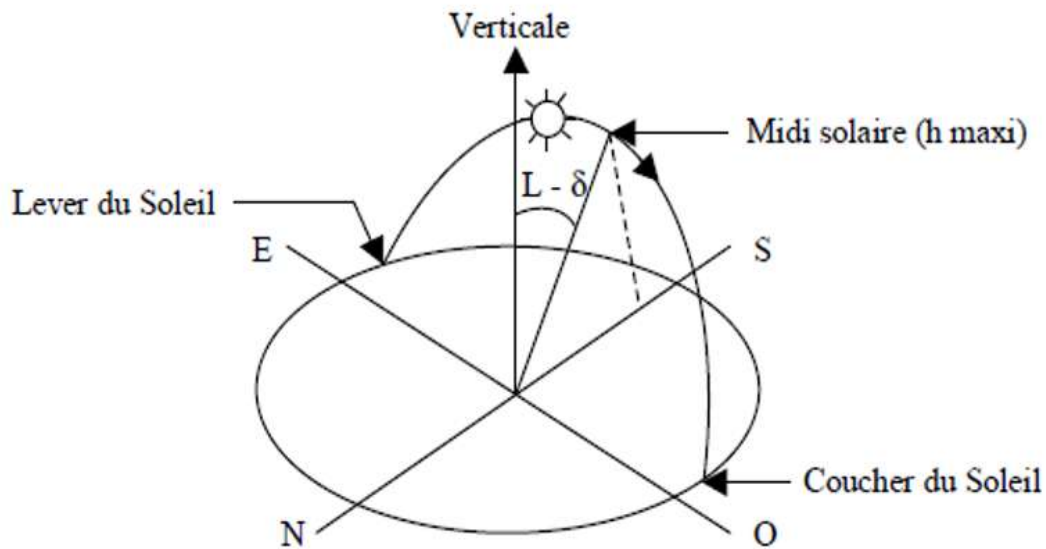
Le mouvement que paraît faire le Soleil en une journée vu par un observateur situé sur Terre est appelé "Le mouvement apparent du Soleil". En dehors des régions polaires, de l'Equateur et des tropiques : [2]

- Le matin ; le Soleil est à l'Est, bas sur l'horizon, c'est le « lever du Soleil »
- A midi ; le Soleil est positionné au Sud ou au Nord, et il est au plus haut de son trajet apparent ;
- Le soir ; le Soleil apparaît à l'Ouest, bas sur l'horizon, c'est le « coucher du Soleil »

Le mouvement apparent du Soleil observé par un homme fixe en un point de latitude  $L$  au Nord de l'Equateur est schématisé sur la figure (1-3). [2]

L'angle que fait la direction du Soleil avec la verticale du lieu au midi solaire est égal à  $(L-d)$ .

La durée du jour est de 12h aux équinoxes, elle est inférieure à 12h entre le 21 septembre et le 21 mars, supérieure à 12 entre le 21 mars et le 21 septembre.



**Figure 1.6:** Mouvement apparent du Soleil observé d'un point de latitude L

## 1.8. Rayonnement solaire sur un plan horizontal

Au niveau du sol le rayonnement global reçu par une surface plane d'inclinaison quelconque est constitué de trois composantes principales :

### 1.8.1. Rayonnement direct [7]

Flux solaire sous forme de rayons parallèles provenant de disque soleil sans avoir été dispersé par l'atmosphère. Après des mesures pour des heures (i) nous avons l'équation statique pour le rayonnement direct.

$$S_H = 1367 \cdot C(j) \cdot \sin(h(i)) \exp\left(\frac{-T(L)}{(0.9)(9.41)(M(i))}\right)$$

### 1.8.2. Rayonnement diffus [7]

C'est la partie du rayonnement provenant du soleil, ayant subi de multiples réflexions (dispersions), dans l'atmosphère. Pour un observateur le rayonnement diffus (D) par l'heure  $i$  est statistiquement donné par.

$$D_H(i) = \frac{1367}{3} \cdot C(j) - \sin(h(i) - 2) \cdot \exp[-0,5 \cdot \log^2(\frac{-T_L}{22 \cdot M(i)^{-0,65}})]$$

### 8.3. Rayonnement réfléchi [8]

C'est la partie de l'éclairement solaire réfléchi par le sol, ce rayonnement dépend directement de la nature du sol (nuage, sable...). Il se caractérise par un coefficient propre de la nature de lieu appelé Albédo ( $\xi$ ) tq :  $0 \leq \xi \leq 1$

### 1.8.4. Rayonnement global ( $\emptyset_G$ ) [8]

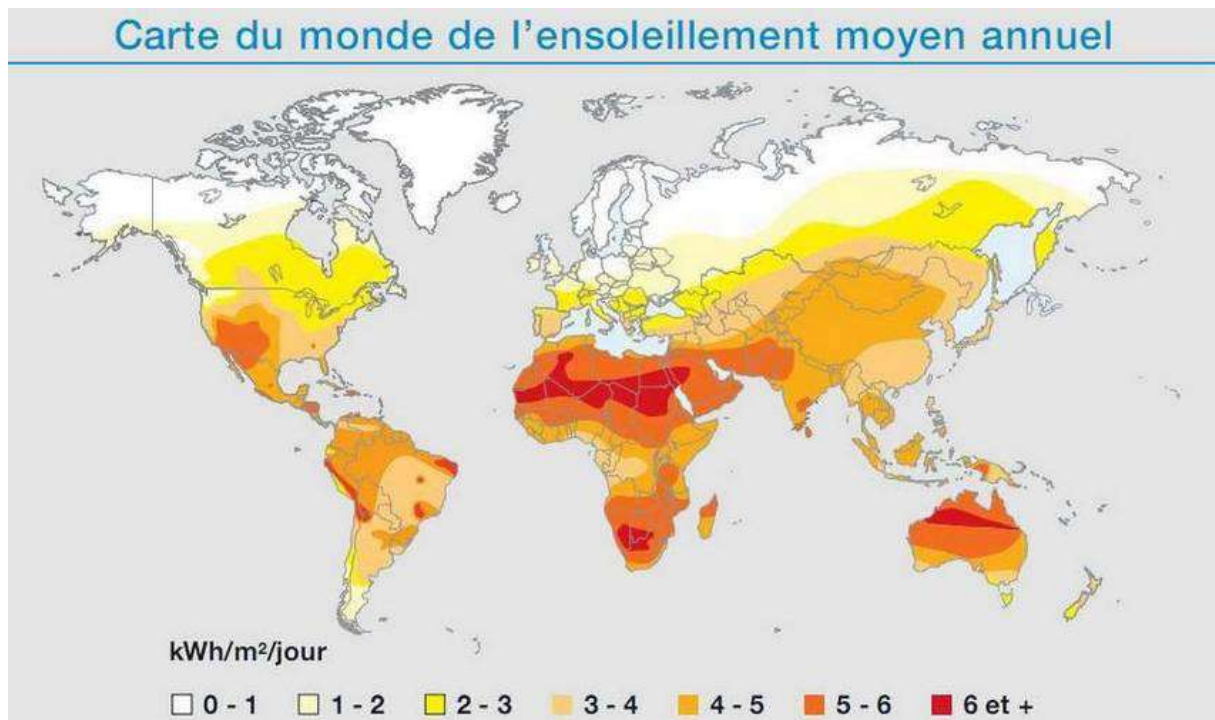
Un plan reçoit de la part du sol un rayonnement global qui est le résultat de la superposition des trois compositions direct, diffus et réfléchi :

$$\emptyset_G = S_H + D_H + R_H$$

## 1.9. Gisement solaire en Algérie

Gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire.

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme comme le montre la figure I.7 :



**Figure I.7** Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel [14]

Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel. La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau

### 1.9.1 selon l'ensoleillement reçu annuellement:

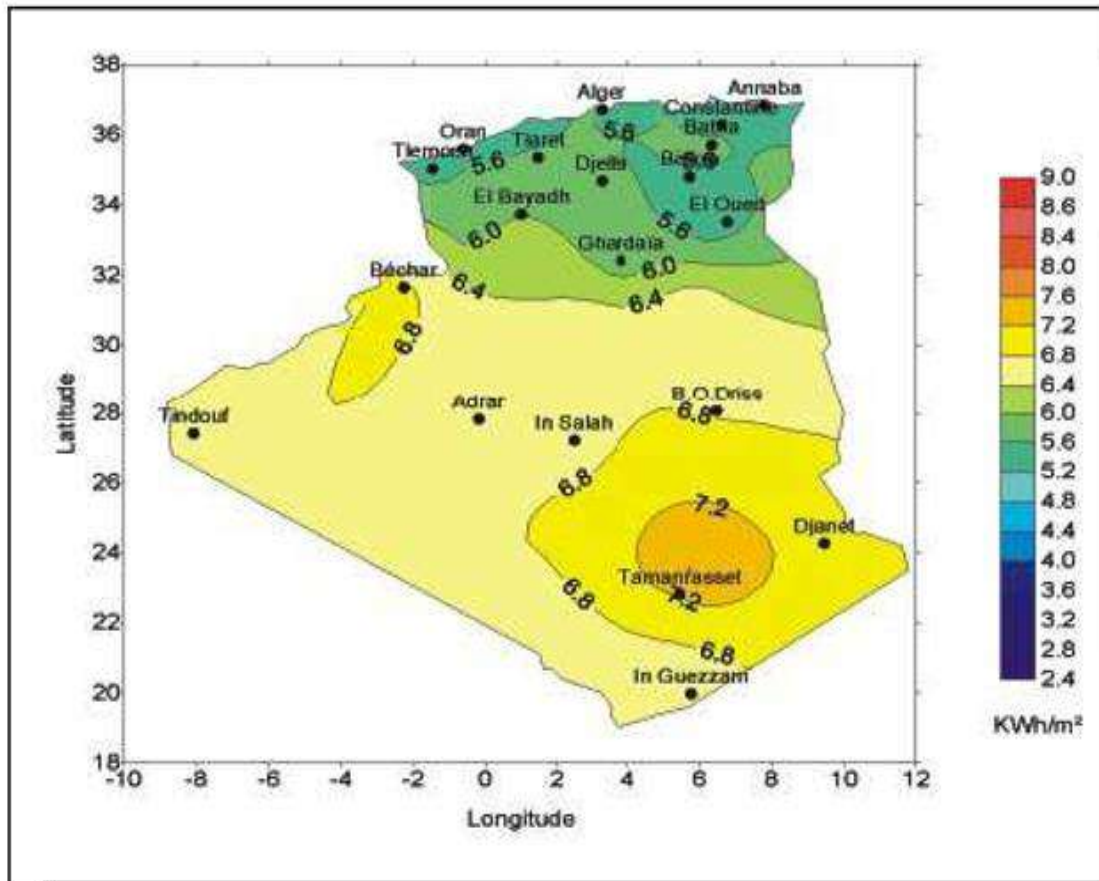
Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (kWh/m <sup>2</sup> /an)	1700	1900	2650

**Tableau I.2.** Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques



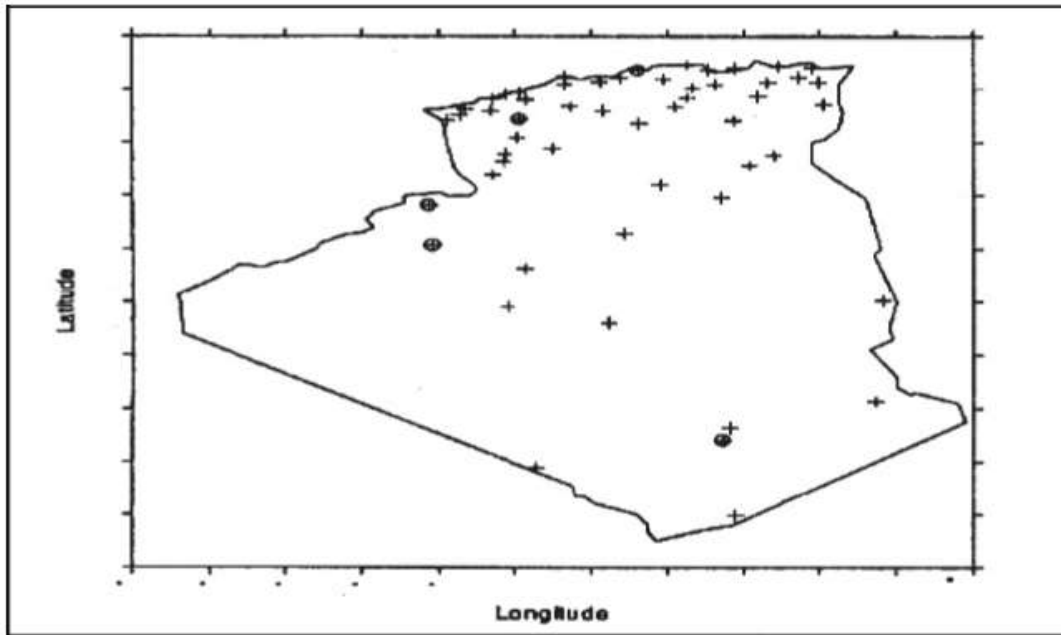
La durée d'insolation dans le Sahara algérien est de l'ordre de 3500h/an est la plus importante au monde, elle est toujours supérieure à 8h/j et peut arriver jusqu'à 12h/j pendant l'été à l'exception de l'extrême sud où elle baisse jusqu'à 6h/j en période estivale.

La région d'Adrar est particulièrement ensoleillée et présente le plus grand potentiel de toute l'Algérie (figure I.8).



**Figure I.8** Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu

En Algérie, il existe un réseau de 78 stations de mesure météorologiques de l'O.N.M (annexe D) réparties sur tout le territoire algérien (figure I.9) [16]. Cependant, seules 7 stations météorologiques assurent la mesure des composantes diffuses et globales du rayonnement solaire reçu sur un plan horizontal en raison, soit du manque de fiabilité des appareils de mesure, ou bien, du coût élevé d'un tel appareillage. La durée d'insolation quant à elle, est mesurée par un héliographe dans la majorité des stations de (O.N.M) à cause de la facilité de sa mise en œuvre [4].



**Figure I.9** Répartition territoriale des stations météorologiques en A

### 1.10. Conclusion

Dans ce chapitre on a donné un aperçu sur description du soleil, le gisement solaire en Algérie et les paramètres de position ainsi que mouvement de la terre et rayonnement solaire sur un plan horizontal, Ce qui permet d'introduire à le PV système, ce qui on va voir dans le 2ème chapitre.

# CHAPITRE 2

## SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE

---

## 2.1. Introduction

Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, il pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie. C'est pourquoi, l'homme cherche depuis longtemps à mettre à profit cette énergie importante et diffusée sur l'ensemble de la planète, il est arrivé à réaliser ce but par le moyen dit cellule photovoltaïque. Le nom Photovoltaïque vient du Grec, il est composé de deux parties:

**Photos** : Lumière.

**Volt** : Unité de tension électrique, du nom Alessandro volta.

Ce phénomène fut découvert au 19<sup>ème</sup> siècle par le physicien [Alexandre Edmond Becquerel]. La première cellule photovoltaïque fut développée début 1954 pour l'alimentation en énergie des satellites. Depuis 1958, les cellules photovoltaïques alimentent seulement le système énergétique des satellites jusqu'à ses premières applications terrestres au début des années 70. Le photovoltaïque fut utiliser pour l'alimentation en énergie de petites maisons isolées et d'équipements de télécommunications.

## 2.2. Effet photovoltaïque

Lorsque la lumière atteint une cellule solaire, une partie de l'énergie incidente est convertie directement en électricité. Cette propriété remarquable est au cœur de toute installation photovoltaïque elle est appelée l'effet photovoltaïque.

L'effet photovoltaïque est un phénomène physique propre à certains matériaux appelés "semi-conducteurs" qui, exposés à la lumière, produisent de l'électricité. Le plus connu d'entre eux est le silicium cristallin qui est utilisé aujourd'hui dans 90% des panneaux solaires produits dans le monde.

Cet effet fut observé pour la première fois par Becquerel en 1839 entre des électrodes plongées dans un électrolyte à la lumière. C'est en 1876 que l'on observa un phénomène photoélectrique dans un solide, le sélénium et ce matériau furent utilisés pour la mesure de la lumière avant que le silicium ne soit développé.

-Les systèmes fonctionnant au fil du soleil (Pompage PV).

## 2.3. Cellule photovoltaïque

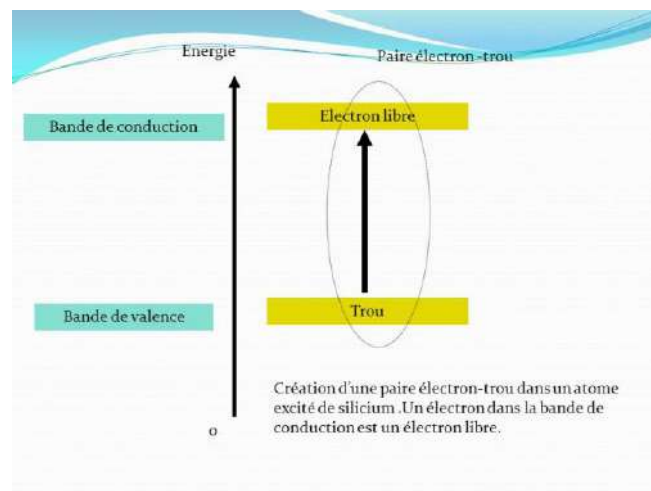
La cellule photovoltaïque est l'élément fondamental d'un générateur solaire, elle est fabriquée à l'aide d'un matériau semi-conducteur comme les diodes. [10]

## 2.4. Semi conducteur

La filière la plus avancée sur le plan technologique et industrielle est la réalisation de cellules à base de silicium. Ce dernier est l'élément semi-conducteur le plus utilisé car il est peu coûteux et il se trouve en très grande quantité sur terre : il constitue 28% de l'écorce terrestre, sous forme de silice, parfaitement stable et non toxique. [10]

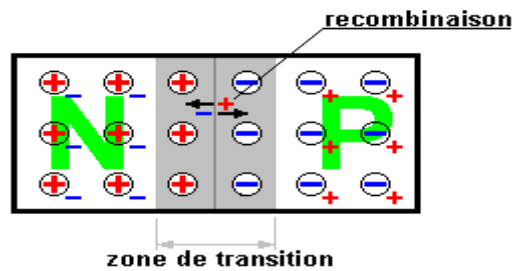
### 2.4.1. Formation de la jonction PN

Le silicium, comme tous les semi-conducteurs, a une bande de valence pleine et une bande de conduction vide. Mais grâce à un apport énergétique suffisant, il est possible de faire passer des électrons de la bande de valence (BV) à la bande de conduction (BC), d'où la génération d'électrons libres, figure (2.1). [10]



**Figure .21** Génération de la paire électron-trou.

La présence d'électrons libres dans la bande de conduction d'un matériau n'est pas suffisante pour générer un courant : il est nécessaire de créer une différence de potentiel aux bornes du photo- générateur afin d'entraîner les charges positives d'un côté et les charges négatives de l'autre. Cette opération est possible par dopage du Silicium. Une jonction PN est créée par l'assemblage de deux barreaux de Silicium de type N et P. Le composant ainsi créé est appelé diode. [10]

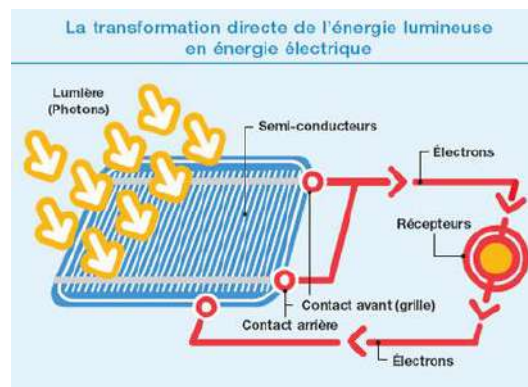


**Figure 2.2** La jonction PN.

## 2.5. Principe de la conversion photoélectrique

Le phénomène mis en jeu dans l'effet photovoltaïque consiste en l'apparition d'une différence de potentiel quand on génère des porteurs de charges par excitation lumineuse au voisinage d'une jonction entre deux zones. L'une de ces zones présente un excédent d'électrons et l'autre un déficit, elles sont dites respectivement, dopée n et dopée p. Le dopage peut être dans le même matériau (homo jonction) ou de deux matériaux différents (hétéro jonction).

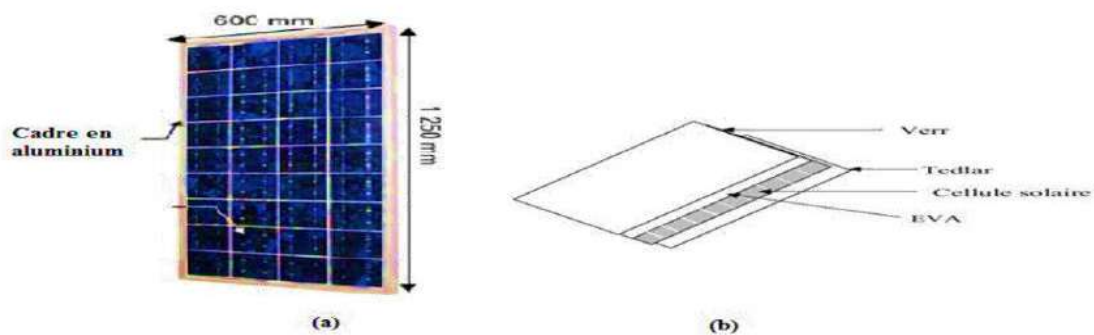
La jonction p-n formée est le siège d'un champ magnétique dirigé de la zone p vers la zone n. Lorsque les photons heurtent la surface mince des semi-conducteurs, ils transfèrent leur énergie aux électrons de la matière. Si l'énergie transmise par les photons est suffisante (au moins égale à l'énergie d'extraction d'un électron), les électrons se mettent alors en mouvement en direction de la zone n, créant ainsi un courant électrique (le photo-courant) qui est recueilli par des contacts métalliques très fins accolés aux zones p et n [11]



**Figure 2.3** Principe de conversion photovoltaïque

## 2.6. Le module photovoltaïque

Pour produire plus de puissance, les cellules solaires sont assemblées pour former un module Figure (2.4-a). Les connections en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. ces cellules sont protégées de l'humidité par encapsulation dans un polymère EVA (éthylène - vynil - acétate) Figure (2.4-b) et protégé sur la surface avant d'un verre, trempé à haute transmission et de bonne résistance mécanique, et sur la surface arrière d'une ou de polyéthylène [1].



**Figure 2.4:** Module photovoltaïque

Les modules sont généralement entourés d'un cadre rigide en aluminium anodisé comprenant des trous de fixation.

A l'arrière de chaque module se trouve une boîte de jonction contenant 2 diodes antiparallèles Figure (2.5). Ces diodes antiparallèles permettent d'éviter qu'un module au soleil ne se décharge dans un module à l'ombre [1].



**Figure 2.5:** Boîte de jonction.

## 2.7. Panneau solaire

Le panneau solaire ou (champ solaire) (figure (2.6)) se compose de modules photovoltaïques interconnectés en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise. Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique.



**Figure 2.6** Panneau photovoltaïque.

Pour chaque panneau on peut avoir autant de sorties que de modules, ce que fait qu'on aura besoin de boîte de dérivation qui regroupe le tous, Alors cette boîte de dérivation (figure (2.7)) fixée sur une structure du montage a comme rôle d'effectuer les connections entre les modules pour obtenir une puissance optimale en sortie.



**Figure 2.7** Boîte de dérivation.

La boîte de dérivation est composée également d'un circuit imprimé sur lequel se trouvent :



- Des diodes schotcky séries, placée sur un radiateur, sur chaque entrée, qui empêchent aux batteries de se décharger dans les panneaux.

- Des fusibles de protections qui empêcheront aux batteries de se décharger dans les modules en cas de destruction des diodes antiparallèles.

## **2.8. Différents types de cellules solaires**

### **2.8.1. Propriétés photovoltaïques du silicium**

Aujourd'hui, plus de 99% des équipements photovoltaïques utilisent le silicium comme matériau de base. Ce dernier se présente sous différentes formes, les plus répandues étant le silicium monocristallin, le silicium polycristallin et le silicium amorphe.

### **2.8.2 Le silicium monocristallin**

La cellule monocristalline qui s'approche le plus du modèle théorique: cette cellule est effectivement composée d'un seul cristal divisé en deux couches. Les cellules monocristallines permettent d'obtenir de hauts rendements, de l'ordre de 15 à 22 %. Ces cellules souffrent néanmoins des inconvénients:

### **2.8.3 Le silicium polycristallin**

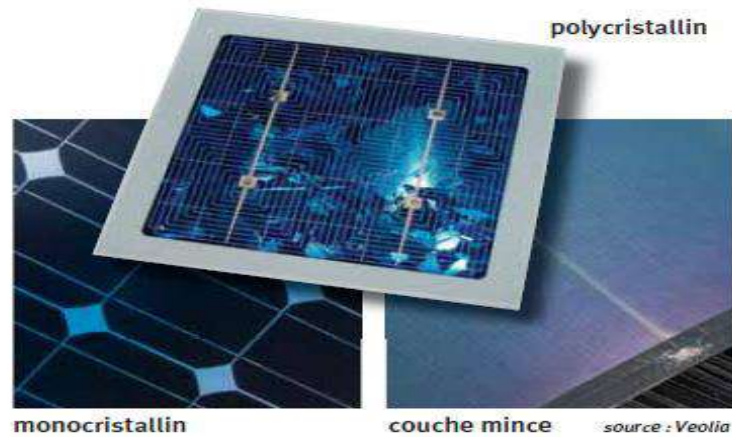
Les cellules polycristallines sont composées d'un agglomérat de cristaux. Elles sont caractérisées par: Coût de production moins élevé. Nécessite moins d'énergie. Rendement de 13 % et jusqu'à 20 % en labo.

### **2.8.4 Le silicium amorphe**

Le silicium amorphe, apparu en 1976. Sa structure atomique est désordonnée, non cristallisée, mais il possède un coefficient d'absorption supérieur à celui du silicium cristallin.

### **2.8.5 Cellules à couches minces**

La technologie des couches minces a l'avantage de produire les cellules par un procédé de revêtement à grande surface peu onéreux. Elles sont plus minces et peuvent même être déposées sur des supports flexibles



**Figure 2.8** : Différents technologies des cellules PV

## 2.9. Paramètres des cellules photovoltaïques

Une cellule solaire est constituée par une jonction PN, cette dernière réalisée à partir de matériaux sensibles à la lumière, elle présente la particularité de pouvoir fonctionner en générateur photovoltaïque. Ce comportement en statique peut être décrit par l'équation (I.3) définissant le comportement d'une diode sous éclairement.

Cette relation entre les trois grandeurs,  $I$ ,  $I_{ph}$  et  $I_{obs}$  (V) représente la caractéristique courant tension idéale permettant de déterminer les grandeurs caractéristiques principales du fonctionnement des cellules solaires: [12]

### 2.9.1 Courant de court-circuit, $I_{sc}$

C'est le courant obtenu aux bornes de la cellule quand la tension à ces bornes est nulle,  $V=0$ . [12]

Il constitue le maximal de courant qui peut être obtenu d'une cellule. Sa valeur typique sera à peu près d'une dizaine de milliampères pour centimètre carré de cellule. Puisque  $R_s \ll R_p$  on peut mettre  $I_{sc} \approx I_{ph}$ .

### 2.9.2 Tension de circuit ouvert, $V_{oc}$

C'est la tension pour laquelle le courant aux bornes de la cellule est nul; elle constitue la tension maximale qui peut être obtenue d'une cellule; elle se situe autour de 0.6 V pour la cellule en silicium. [12]

### 2.9.3 Point de puissance maximale, Pmax

La puissance fournie au circuit extérieur par une cellule photovoltaïque sous éclairement dépend de la résistance de charge (résistance externe placée aux bornes de la cellule). Cette puissance est maximale (notée Pmax) pour un point de fonctionnement Pmax (Imax, Vmax) de la courbe courant-tension (courants compris entre 0 et Isc et tension comprise entre 0 et Voc[12]

### 2.9.4 Facteur de forme, FF

Un paramètre important est souvent utilisé à partir de la caractéristique I(V) pour qualifier la qualité d'une cellule ou d'un générateur PV: c'est le facteur de remplissage (FF), (ou fill factor en Anglais), ce coefficient représente le rapport entre la puissance maximale que peut délivrer la cellule notée Pmax et la puissance formée par le rectangle Isc.Voc. Il est de l'ordre de 0.7 pour les cellules performantes; et diminue avec la température, leur expression est donné par [12] :

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{I_{sc} \cdot V_{oc}}$$

### 2.9.5 le Rendement, η

Le rendement de la cellule photovoltaïque est le rapport de conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique, qui est égal au rapport de la puissance maximale de sortie sur la puissance des radiations lumineuses. C'est le paramètre qui définit le mieux fonctionnement de la cellule PV, est donné par:

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{P_{in}}$$

## 2.10. Influence de paramètres sur la caractéristique de la cellule photovoltaïque

Le comportement électrique d'une cellule dépend de deux types de paramètres dont: [12]

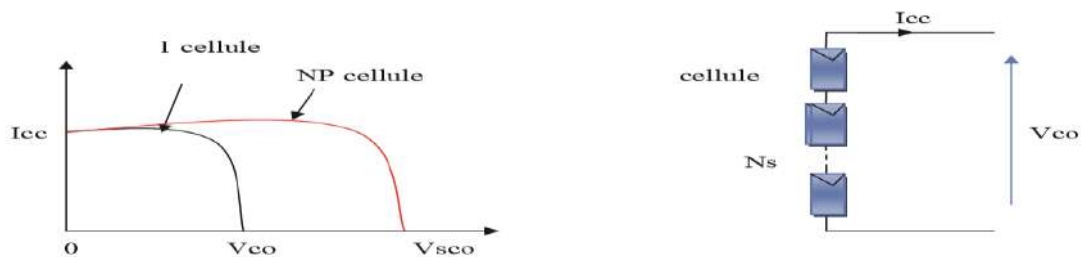
Des paramètres internes tels que la résistance série Rs, la résistance shunt Rp.

Des paramètres externes tels que le flux solaire et la température T.

## 2.11. Regroupement des cellules

### 2.11.1 Regroupement en série

Une association de ( $N_s$ ) cellule en série figure (2.9) permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque. Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenues par addition des tensions élémentaires de chaque cellule. L'équation résume les caractéristique électriques d'une association série de ( $N_s$ ) cellules.



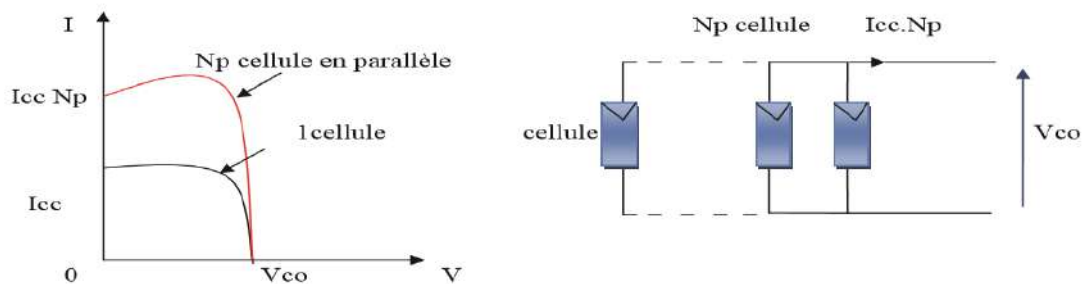
**Figure 2.9:** Caractéristique courant tension de  $N_s$  cellule en série

### 2.11.2 Regroupement en parallèle

Une association parallèle de ( $N_p$ ) cellule figure (2.10) est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants.

Avec:  $I_{ccNp} = N_p \cdot I_{cc}$

$$V_{co} = V_{coNP}$$



**Figure 2.10 :** Caractéristique courant tension de ( $N_p$ ) cellule en parallèle

### 2.11.3 Regroupement (mix)

On utilise généralement ce type d'association pour en tirer une tension importante puisque l'association en série des photopiles délivre une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule. La caractéristique d'un groupement de deux modules solaires est représentée ci-dessous, ce qui peut être généralisé sur une gamme de  $N_s$  modules solaires en série. Ce genre de groupement augmente le courant[13].

## 2.12. Convertisseur

### 2.12.1 Définition

Les convertisseurs sont des appareils servant à transformer la tension continue fournie par les panneaux ou les batteries pour l'adapter à des récepteurs fonctionnant soit à une tension continue différente, à une tension alternative.

### 2.12.2 Hacheur (DC/DC)

Ce type de composant est utilisé pour transformer la tension des batteries en une tension DC différente pour alimenter un appareil spécial comme par exemple un chargeur pour téléphone portable, une radio, un ordinateur portable... Deux types de convertisseurs DC/DC sont possibles : les convertisseurs « vers le haut » pour augmenter la tension et les convertisseurs « vers le bas » pour abaisser la tension.

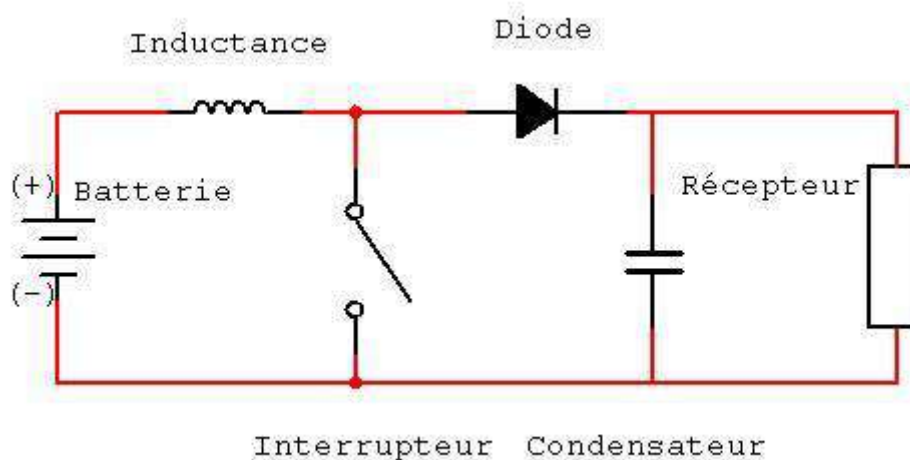


figure 2.11: exemple de convertisseur DC/DC vers le haut

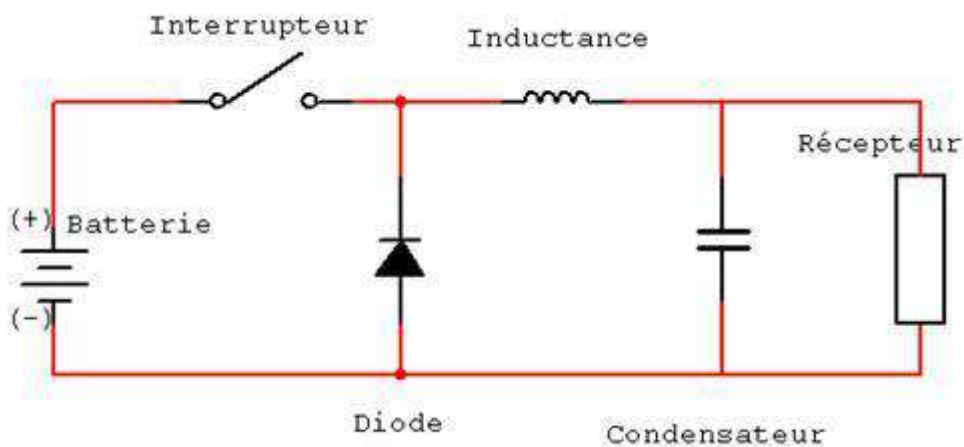


figure 2.12: convertisseur typique DC/DC vers le bas. [7]

### 2.12.3 Onduleurs DC/AC

Un onduleur est un convertisseur de tension continue /alternative. Il est utilisé pour convertir l'énergie électrique photovoltaïque en énergie électrique alternative soit pour faire fonctionner des charges, soit pour débiter de l'énergie au réseau. Généralement à base de thyristors, selon l'exploitation de cet onduleur peut être monophasé ou triphasé.

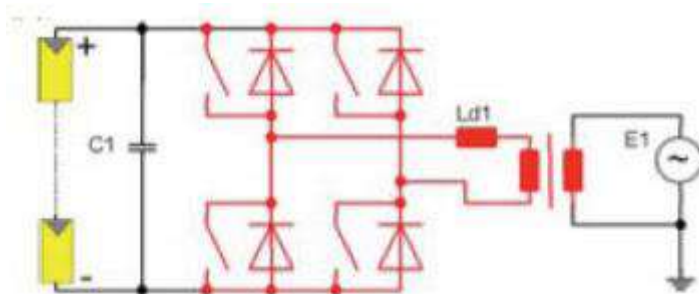


figure 2.13: Circuit simple utilisant un pont de transistors [18]

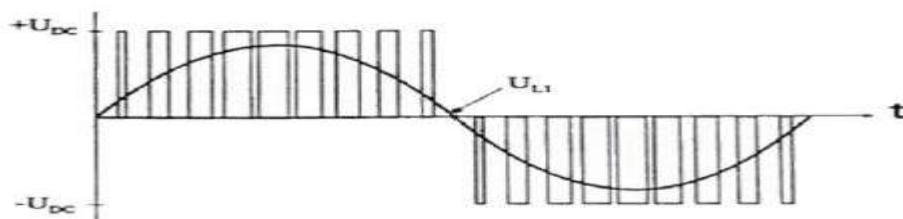


figure 2.14: Filtrage de la tension par l'inductance de sortie .

### 2.12.3.1 Onduleurs pour couplage au réseau

Les applications photovoltaïques les plus valorisantes actuellement sont les installations PV destinées à alimenter le réseau électrique public. Il existe différentes topologies de gestion de ces installations. Néanmoins, toutes ces approches reposent sur un GPV raccordé au réseau par le biais d'onduleurs qui transfèrent et mettent en forme l'énergie solaire électrique. Les progrès effectués ces dernières années dans le développement des onduleurs dédiés aux photovoltaïques ont permis de faire évoluer grandement ces systèmes de gestion. Les onduleurs ne se limitent plus seulement à transformer la puissance continue (DC) générée par les panneaux solaires en puissance alternative sous forme d'une tension sinusoïdale de fréquence souhaitée mais ils exploitent également la puissance délivrée par le GPV en le forçant à fonctionner à son point de puissance maximale. De plus, ils assurent une surveillance fiable du réseau pour protéger ce dernier contre les pannes et interrompre l'alimentation en cas de problèmes survenant soit du réseau soit de l'installation.

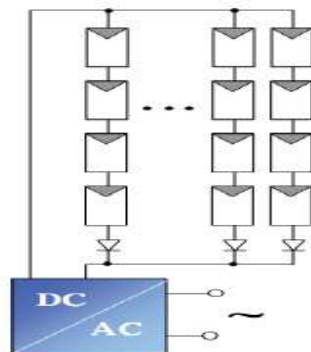
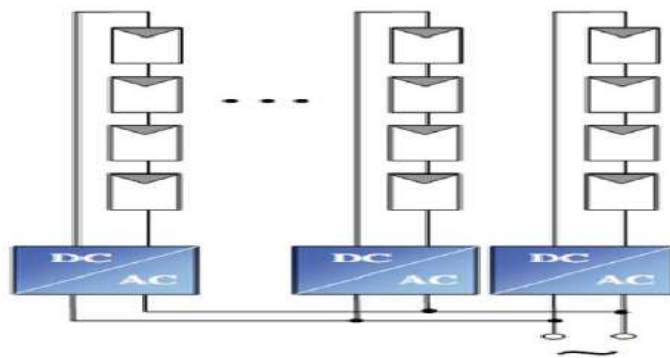


figure 2.15: Typologie des systèmes Onduleur Centralisé .

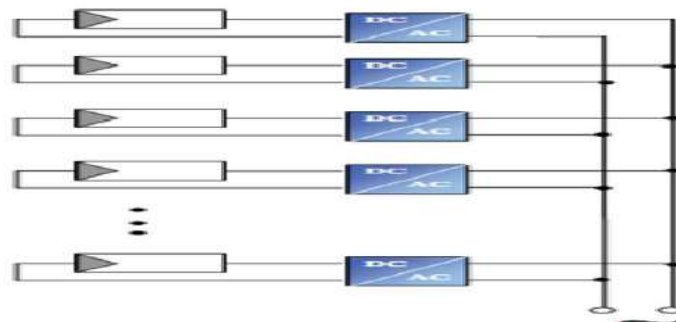
Le couplage direct des installations PV avec des onduleurs sans transformateur gagne en importance. En effet, ils sont peu onéreux et offrent un rendement énergétique imbattable (Entre 95% et 97% pour les fortes puissances). Pour pouvoir alimenter le réseau, la tension d'entrée doit toujours dépasser la tension crête de la tension réseau redressée. Soit, pour une valeur efficace réseau de 250V, une source de tension minimale de 354V est nécessaire pour pouvoir injecter un courant sinusoïdal dans le réseau. Par conséquent, un panneau mal adapté ou encore un ombrage partiel porte préjudice à une exploitation optimale de chaque chaîne PV et entraîne une réduction du rendement énergétique. L'onduleur central possède le plus souvent au moins un système de contrôle MPPT lui permettant de fonctionner à son point de

puissance maximum. Cela marche parfaitement tant que les panneaux sont identiques et qu'ils fonctionnent sous un ensoleillement homogène. Mais lorsque les caractéristiques électriques entre les panneaux diffèrent, dues à des ombrages, des salissures, au vieillissement ou au stress, la commande MPPT devient incertaine et le champ photovoltaïque ne produit pas autant que qu'il ne le pourrait. En outre, la fiabilité de l'installation est limitée parce qu'elle dépend d'un seul onduleur. Ainsi, lorsque qu'une panne de l'onduleur central se produit, elle entraîne l'arrêt complet de l'installation et donc de la production. [5]



**figure 2.16:** Typologie des systèmes Onduleur Chaîne

Chaque string peut ainsi fonctionner à son point de puissance maximale. Cette technologie réduit considérablement le risque de problème d'adaptation ainsi que les pertes dues aux effets d'ombrage, tout en éliminant celles occasionnées par les diodes anti-retour et un câblage prolongé vers le générateur DC. Ces propriétés avantageuses accroissent la fiabilité de l'installation ainsi que sa production énergétique. Mais il faut prendre en considération l'augmentation du nombre d'onduleurs de moyenne puissance disposant de rendement compris entre 92% et 96% nécessaire pour calculer le surcoût d'une telle architecture par rapport à la précédente. [5]



**Fig.2.17:** Typologie des systèmes Onduleur Chaîne



Habituellement, les onduleurs strings et intégrés sont reconnus pour leur meilleure réponse aux variations d'ensoleillement et aux inhomogénéités lumineuses mais aussi pour leur facilité d'installation. D'autre part, l'onduleur central est souvent moins cher en termes d'équipement électronique qui est, somme toute, très modeste, il dispose d'un meilleur rendement et est, en plus, plus fiable, tableau [5]

	Onduleur Central	Onduleur String	Onduleur Intégré
Tension PV	340-800V	150-800V	17-90V
Pertes DC (Ohmique)	~1-5% en fonction de la tension et de la distance	~1% en fonction de la tension et de la distance	Négligeable
$\eta_{CONV}$	95-97%	92-96%	87-93%
Maintenance et réparation	Simple	Difficile (recherche dysfonctionnement)	Difficile (recherche dysfonctionnement)

**Tableau 2.1** : Caractéristiques techniques des différents systèmes de configuration.

### 2.13. Structure générale d'un système photovoltaïque connecté au réseau

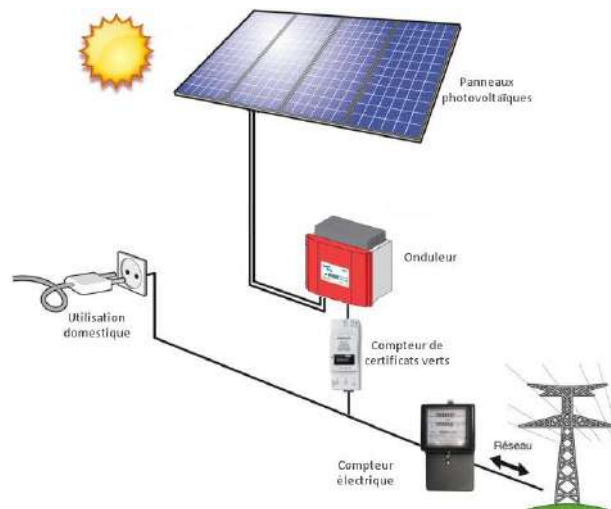
Il existe deux types de structures de système photovoltaïque.

- Les systèmes à connexion direct au réseau. Cette installation est constituée d'un générateur photovoltaïque qui est connecté à l'aide d'un onduleur au réseau électrique.
- Le système à bus continu intermédiaire. Le générateur photovoltaïque est connecté à un bus continu par l'intermédiaire d'un bus continu-continu. Un onduleur délivre une tension modulée. Celle-ci est filtrée pour réduire le taux d'harmonique (THD). On obtient alors en sortie de ce dispositif une tension utilisable pouvant être injectée dans le réseau. [5]

### 2.13.1 Système PV connecté directement au réseau

La structure présentée à la figure 2.19 est la plus simple, car elle comporte le moins de composants possible.

Dans ce cas, on associe plusieurs modules photovoltaïques en série pour obtenir une tension continue suffisamment grande. Cette solution est une alternative à un hacheur élévateur de tension. Un onduleur (convertisseur continu / alternatif) photovoltaïque classique est placé en sortie des modules. Son rôle est de faire fonctionner les modules à leurs points de puissance maximum et de convertir le courant continu photovoltaïque en courant alternatif synchronisé avec le réseau. L'énergie produite par les modules photovoltaïques doit pouvoir alimenter les charges, le surplus est injecté sur le réseau. [5]



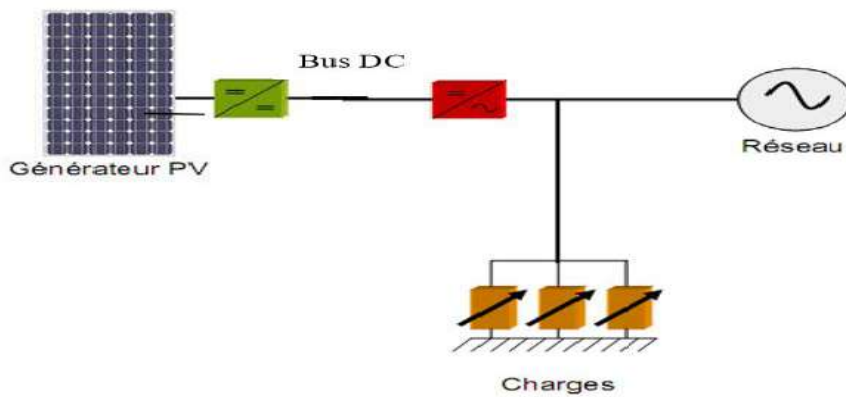
**Fig.2.19** : Architecture du système PV avec un bus en courant alternatif (AC).

Il pourrait être avantageux d'insérer un transformateur pour isoler le système PV du réseau. L'inconvénient majeur de cette architecture est l'arrêt total et immédiat de la production d'énergie lors d'un problème survenant en amont de l'onduleur. De plus le contrôle du point de fonctionnement maximum est approximatif car toutes les cellules ne délivrent pas le même courant en raison de leurs différences de structure interne et d'ensoleillement. [5]

### 2.13.2 Systèmes à bus continu intermédiaire

Dans ce cas, le système comporte deux éléments de conversion Figure 2.20. Un convertisseur continu/continu (hacheur) placé en sortie des modules photovoltaïques qui contrôle le point de fonctionnement maximum du générateur photovoltaïque et élève sa tension de sortie délivrée

Bus AC



**Fig.2.20:** Architecture du système PV avec un bus en courant continu (DC)

### 2.14. Régulateur de charge

Optimisation de la conception d'une centrale hybride PV-Diesel

Pour protéger les batteries contre d'éventuelles décharges profondes ou surcharges, on utilisera un régulateur de charge du type «régulateur série »

Ce système de régulation autorise un contrôle et une gestion intelligente de l'installation P.V.

C'est un régulateur avec contacteurs dans les circuits de charge. Le régulateur remplit deux fonctions distinctes, à savoir:[16]

1. Gestion de la charge et de la décharge des batteries
2. Mesure des conditions de charge 1décharge

Le régulateur incorpore les dispositifs suivants :

3. Régulateur de charge et décharge avec indication lumineuse de l'état de fonctionnement (5 étapes)
  4. Démarrage du générateur d'appui en cas de faible tension des batteries
  5. Protection des batteries par déconnexion en cas de faible tension des batteries, de la sortie, avec indication LED
  6. Le délestage des 4 départs AC, en cas de faible tension des batteries sera programmé de façon indépendante
  7. Dispositif de protection pour les circuits de charge
  8. compensation en température des seuils de tension de fin de charge et d'activation
  9. Circuit de contrôle avec les composants nécessaires pour la métrologie du système
  10. Protection contre les tensions induites par la foudre
- II. Protection contre les surcharges et courts-circuits

### **2.14.1 Les caractéristiques électriques du régulateur sont les suivantes:**

1. Tension nominale de travail =384 V
2. Intensité de charge maximale =240 A

## **2.15. Stockage**

Nous avons pu auparavant faire la distinction entre les deux types d'installations solaires, à savoir celles qui sont directement raccordés au réseau, et les systèmes autonomes et qui en fait sont celle qui sont les plus fréquents dans le monde.

Pour les systèmes raccordés au réseau, aucun stockage n'est requis.

Cependant, si on veut utiliser et concevoir un système d'alimentation PV autonome, il est impératif de prévoir un dispositif de stockage de l'énergie électrique selon les cas et les besoins. Par exemple dans le cas où il y a concordance entre la présence de la lumière et le besoin d'énergie, il n'est pas nécessaire de la stocker (exemple : une calculatrice, un ventilateur ...).

## **2.16. Conclusion**

Dans ce chapitre on a donné un aperçu sur les ressources des énergies renouvelables et les différentes notions de l'énergie photovoltaïque et le semi conducteur, ainsi que la conversion photovoltaïque et regroupement des cellules. Ce qui permet d'introduire à la modélisation et l'analyse de notre système, ce qui on va voir dans le 3ème chapitre.

# CHAPITRE 3

## Modélisation d'un système

## photovoltaïques raccordé au réseau

---

### 3.1. Introduction :

Ce chapitre qui signifie réseau électrique ainsi que la qualité de l'énergie électrique et une Classification d'un système solaire photovoltaïque et l'hacheur et l'onduleur pour la synchronisation aussi que et Principe de fonctionnement de MPPT .

### 3.2. Réseau électrique :

Le système électrique est structuré en plusieurs niveaux, assurant des fonctions spécifiques propres, et caractérisés par des tensions adaptées à ces fonctions. Il est fractionné en trois principales subdivisions à savoir le réseau de transport, de répartition et de distribution. Une notion de frontière peut être définie entre les niveaux de tension du réseau électrique, ces frontières étant définies par les postes sources et les transformateurs (voir Figure 3.1) [17]

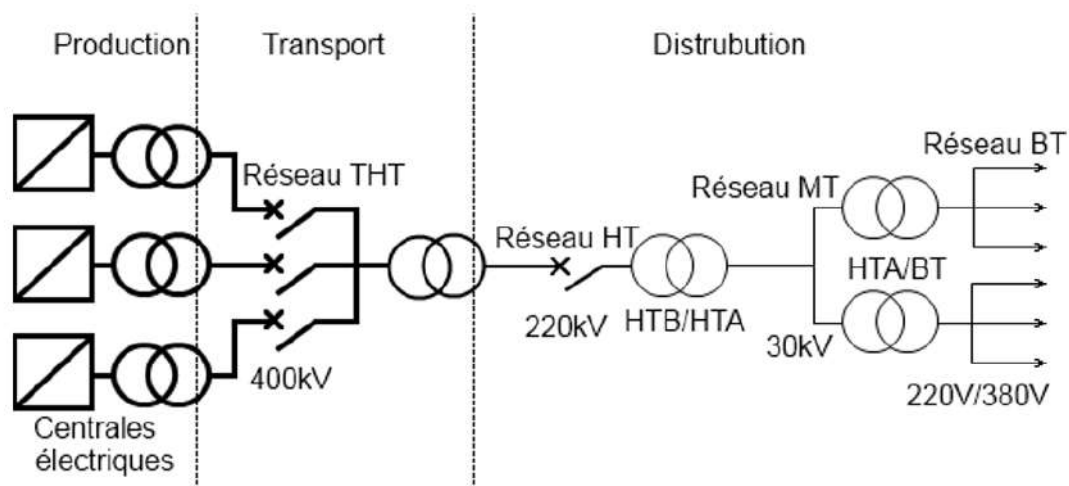


Figure 3.1: Schéma générale de production, transport et distribution de l'énergie électrique

- Les réseaux de transport à très haute tension (THT.400 kV). C'est à ce niveau de tension que sont assurées les interconnexions entre régions au niveau national et les échanges (importation/exportation) d'énergie électrique au niveau international.
- Les réseaux de répartition à haute tension (HT, de 60 kV à 220 kV) assurent, à l'échelle régionale, assurant le transport de l'électricité vers les zones de consommations et à quelques gros clients industriels directement connectés à celui-ci.

### 3.3. Qualité de l'énergie électrique

La qualité de l'énergie électrique est considérée comme une combinaison de la qualité de la tension et de la qualité du courant. Nous allons donc définir ces deux notions dans la suite de ce paragraphe.

#### 3.3.1. Qualité de la tension électrique

Dans la pratique, l'énergie électrique distribuée se présente sous la forme d'un ensemble de tensions constituant un système alternatif triphasé, qui possède quatre caractéristiques principales : amplitude, fréquence, forme d'onde et symétrie

#### 3.4.2. Qualité du courant

La qualité du courant est relative à une dérive des courants de leur forme idéale, et se caractérise de la même manière que pour les tensions par quatre paramètres : amplitude, fréquence, forme d'onde et symétrie. Dans le cas idéal, les trois courants sont d'amplitude et de fréquence constante, déphasés de  $2\frac{\pi}{3}$  radians entre eux, et de forme purement sinusoïdale. Le terme « qualité du courant » est rarement utilisé, car la qualité du courant est étroitement liée à la qualité de la tension et la nature des charges. Pour cette raison, « la qualité de l'énergie électrique » est souvent réduite à « la qualité de la tension ». C'est l'hypothèse que nous ferons dans la suite de ce mémoire, où le terme de « qualité de l'énergie » s'applique uniquement à celle de la tension [18].

### 3.5. Classification d'un système solaire photovoltaïque

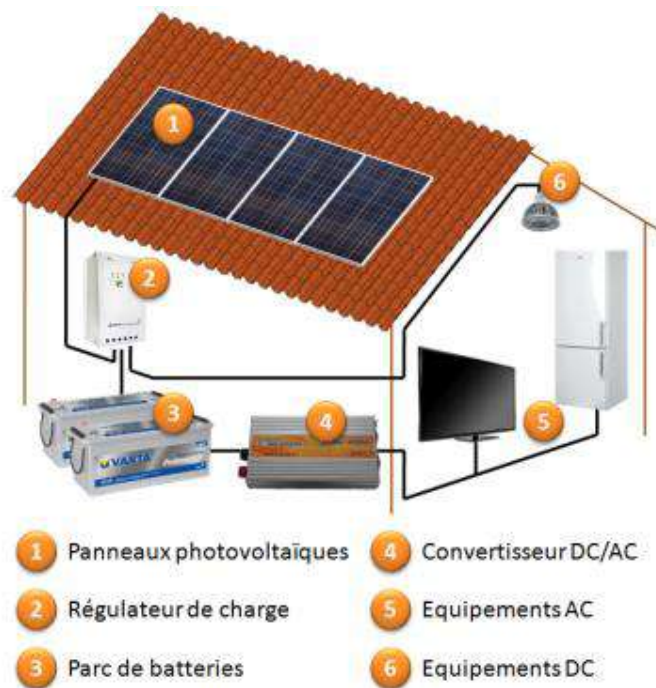
Les systèmes PV sont composés selon les exigences en deux types :

- Autonome
- Raccordée au réseau



### 3.5.1. Système autonome

Dans le cas d'installations autonomes, les systèmes PV fonctionnent indépendamment des réseaux électriques. L'énergie produite par les panneaux solaires PV est utilisée immédiatement (pompage d'eau, ventilation, ...etc.) ou stockée dans des batteries pour une utilisation différée. Le courant continu produit alimente directement des appareils prévus à cet effet ou est transformé en 230 V alternatif via un onduleur. La configuration la plus simple des systèmes autonomes est le couplage direct où le GPV est directement connecté à la charge continue (Figure 3.2). Dans cette connexion, la charge ne peut être opérationnelle que pendant les périodes d'ensoleillement suffisant. Ce qui est faisable pour des applications qui n'ont pas besoin de fonctionner la nuit ou dans l'obscurité comme le pompage de l'eau [19].



**Figure 3.2:** Exemple de la structure d'un système PV autonome

### 3.5.2. Système PV raccordée au réseau

Une installation PV peut être connectée en parallèle avec le réseau d'électricité. Les panneaux solaires sont connectés en série pour former des « strings », eux même reliés à un onduleur. La tâche de l'onduleur est de transformer le courant continu sortant des panneaux

en courant alternatif. Chaque onduleur est choisi en fonction de la puissance des panneaux et peut accueillir un ou plusieurs strings.

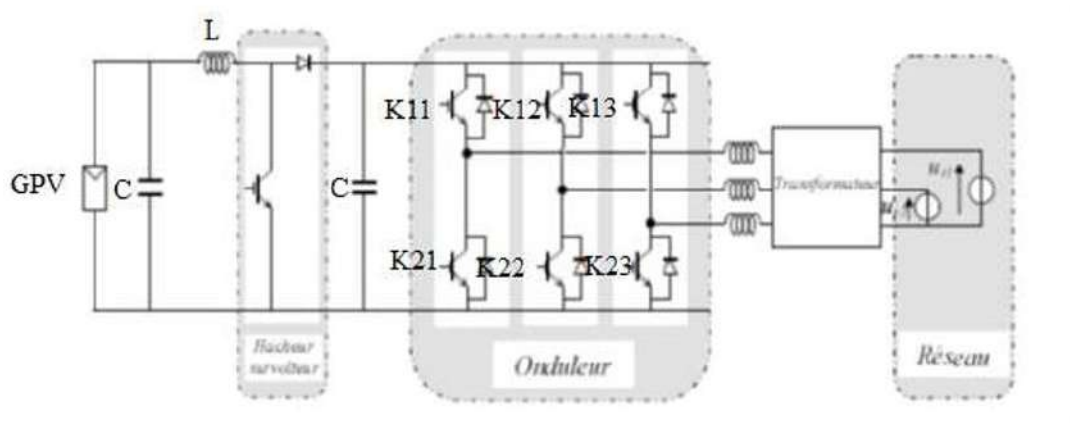
Si la consommation locale est supérieure à la production de l'installation PV, l'appoint est fourni par le réseau. Dans le cas contraire, l'énergie est fournie au réseau public et sert à alimenter les consommateurs [18].

### 3.6. Structures des systèmes photovoltaïques raccordés au réseau

Deux types de structures de système photovoltaïque existent : un système à connexion directe au réseau à l'aide d'un onduleur et un système avec un bus continu par l'intermédiaire d'un convertisseur continu – continu (un onduleur délivre une tension modulée) [20].

#### 3.6.1 Structure avec hacheur et onduleur

Le générateur photovoltaïque est connecté à un bus continu par l'intermédiaire d'un convertisseur continu - continu. Un onduleur délivre une tension modulée. Celle-ci est filtrée pour réduire le taux d'harmonique (THD) On obtient alors en sortie de ce dispositif une tension utilisable pouvant être injectée dans le réseau. Il existe plusieurs architectures pour les dispositifs permettant de convertir la tension continue issue du générateur photovoltaïque en une tension sinusoïdale utilisable [20].



**Figure 3.3:** Hacheur élévateur de tension avec onduleur centralisé

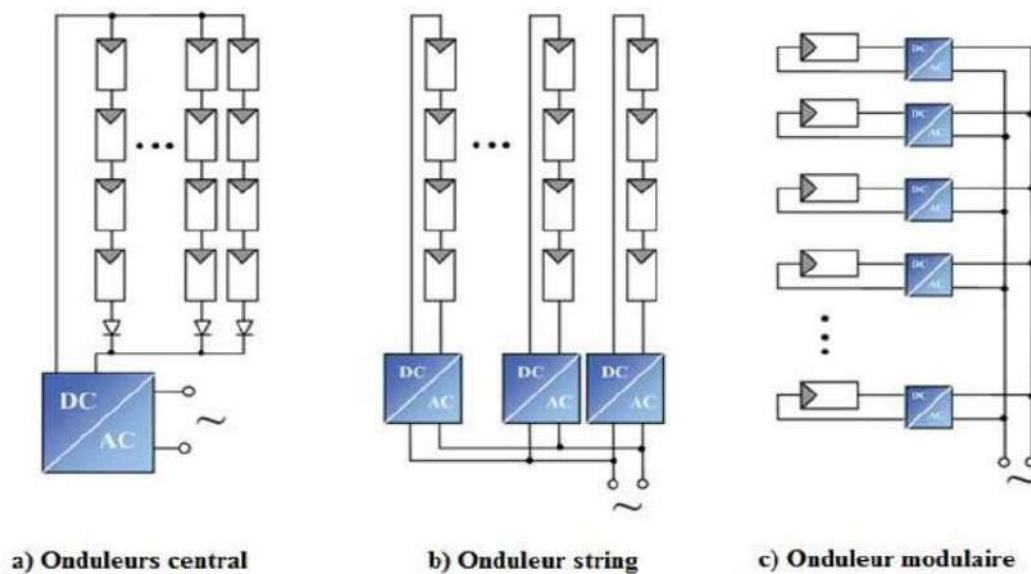
Figure 3.3 représente un hacheur qui élève la tension en sortie du module photovoltaïque. Avec le hacheur, il est difficile d'élever la tension de sortie des modules plus de 4 à 5 fois pour obtenir une tension continue suffisamment grande, en raison de la résistance

de l'inductance. On adjoint un onduleur pour avoir une sortie sinusoïdale, puis un transformateur pour élever cette tension au niveau désiré (selon le réseau) et pour assurer l'isolation entre la partie " production " et la partie " utilisation ". L'avantage de ce système c'est que les batteries peuvent être facilement connectées au bus continu pour obtenir un système autonome.

### 3.6.2 Structures des systèmes à connexion directe au réseau

Les onduleurs ne se limitent plus seulement à transformer la puissance continue (DC) générée par les panneaux solaires en puissance alternative sous forme d'une tension sinusoïdale de fréquence souhaitée (par ex. 230V/400V - 50Hz) mais ils exploitent également la puissance délivrée par le GPV en le forçant à fonctionner à son point de puissance maximum. De plus, ils assurent une surveillance fiable du réseau pour protéger ce dernier contre les pannes et interrompre l'alimentation en cas de problèmes survenant soit du réseau soit de l'installation. Actuellement, il existe principalement trois architectures d'onduleurs donnant de bonnes solutions techniques[20]

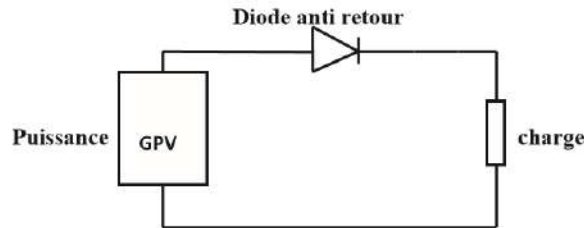
- Un seul onduleur pour toutes les installations (onduleur simple ou central, Figure 3.4a)
- Un onduleur string ( pour chaque string, Figure 3.4b)
- Installations multi-onduleurs (installations multi-onduleurs, Figure 3.4c)



**Figure 3.4:** Différentes topologies des installations PV connectés aux réseaux électriques.

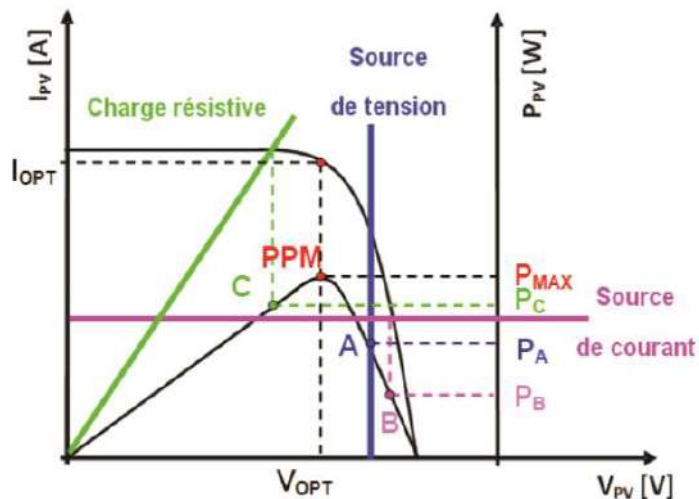
### 3.7. Connexion direct entre la source et la charge

Dans le cas d'une connexion directe qui est finalement aujourd'hui l'utilisation terrestre la plus répandue de l'énergie solaire, le point de fonctionnement du GPV dépend de l'impédance de la charge à laquelle il est connecté [13]. Ce choix est principalement lié à la simplicité, la fiabilité et le faible coût Figure 3.5



**Figure 3.5 :** Connexion directe entre un GPV et une charge.

L'inconvénient de ce type, la puissance extraite d'un GPV connectée directement à une application est souvent très éloignée du maximum de puissance que peut délivrer le GPV, comme l'illustre la figure (3.6).



**Figure 3.6:** Points de fonctionnement d'un GPV en connexion directe, en fonction de la charge.

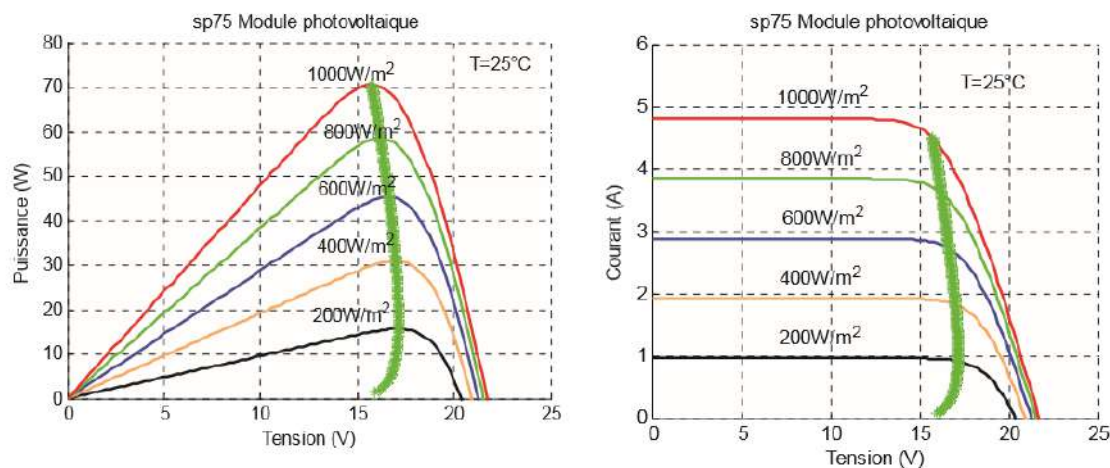
Comme le montre dans la figure (3.2), un GPV peut être connecté directement à trois types de charges :

- une charge de type source de tension continue,
- une charge de type source de courant continue,
- une charge purement résistive.

Comme illustrer précédemment il ya trois points de fonctionnement A, B, C respectifs peuvent être identifiés fournissant une puissance  $P_A$ ,  $P_B$  et  $P_C$ . Ces cas de figures montrent que le GPV est mal exploité et ne fournit pas la puissance maximale [13].

### 3.8. Principe de fonctionnement de MPPT

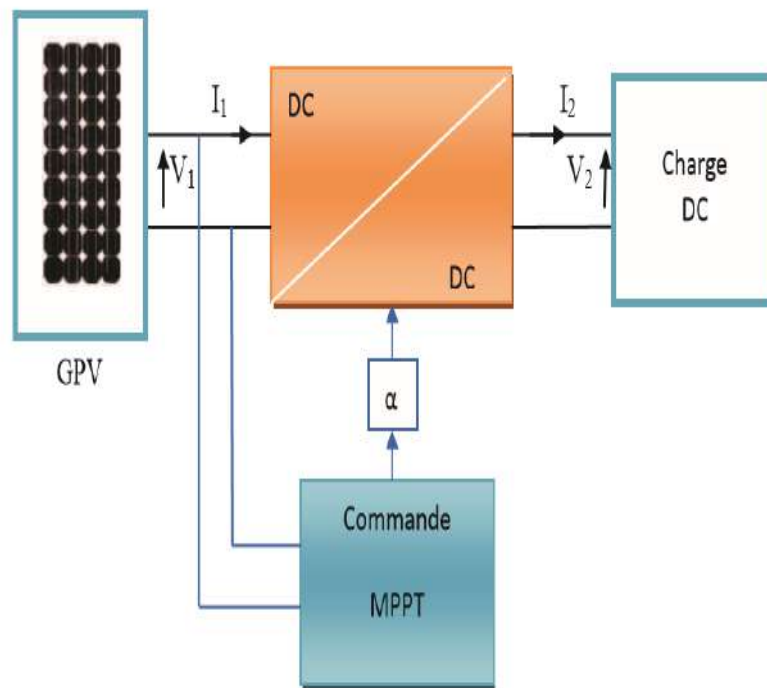
Un MPPT, de l'anglais « Maximum Power Point Tracking » est un principe permettant de suivre, comme son nom l'indique, le point de puissance maximale d'un générateur électrique non linéaire. En conséquence, pour un même éclairement, la puissance délivrée sera différente selon la charge. Un contrôleur MPPT permet donc de piloter le convertisseur statique reliant la charge (une batterie par exemple) et le panneau photovoltaïque de manière à fournir en permanence le maximum de puissance à la charge chaque instant. La figure (3.7) représente la trajectoire du point de puissance maximale produite par le générateur [13].



**Figure 3.7:** La caractéristique I-V, P-V et la trajectoire de PPM

La Figure (3.8) présente le schéma de principe d'un module photovoltaïque doté d'un étage d'adaptation DC-DC entre le GPV et la charge de sortie. Cette structure correspond à un système plus communément appelé système autonome. Il permet le plus souvent d'alimenter une batterie servant de stocke l'énergie pour une charge qui ne supporte pas les fluctuations

de tension. Cet étage d'adaptation dispose d'une commande MPPT (Maximum Power Point Tracking) qui lui permet de rechercher le PPM que peut fournir un panneau solaire photovoltaïque. L'algorithme de recherche MPPT peut être plus ou moins complexe en fonction du type d'implantation choisi et des performances recherchées. Cependant au final, tous les algorithmes performants doivent jouer sur la variation du rapport cyclique du convertisseur de puissance associé [13].

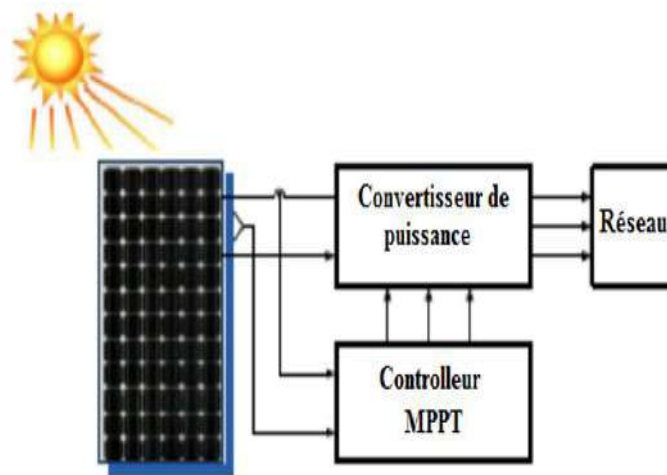


**Figure 3.8:** Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque.

pour assurer le fonctionnement d'un GPV à son point de puissance maximale (PPM), des contrôleurs MPPT sont utilisés, ces contrôleurs sont destinés à minimiser l'erreur entre la puissance de fonctionnement et puissance maximale de référence variable en fonction des conditions climatiques baser sur des méthode optimale (voir la suite).

### 3.8.1 Principe de la recherche du point de puissance maximale MPPT

On montre sur la figure 3.9 la chaîne de puissance d'un module photovoltaïque raccordé au réseau. Un convertisseur statique (hacheur/ hacheur + onduleur) est utilisé comme interface entre le générateur et la charge (autonome/ raccordé au réseau) [11].



**Figure 3.9:** Bloc diagramme d'un contrôleur MPPT pour un système photovoltaïque

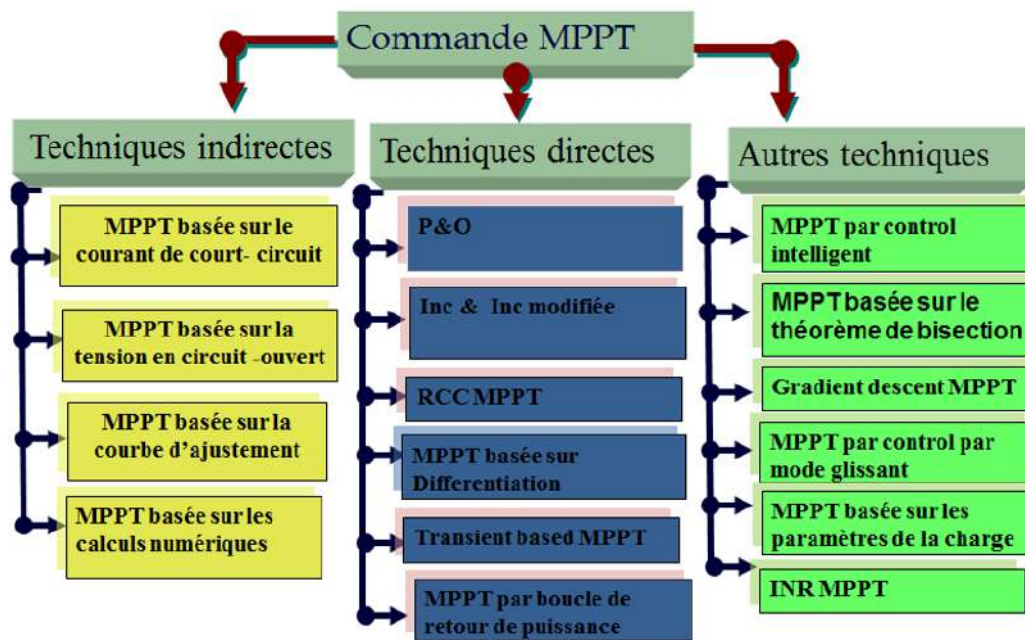
La commande MPPT fait varier le rapport cyclique du convertisseur statique jusqu'à l'obtention de la puissance maximale  $P_{max}$  disponible aux bornes du générateur.

L'algorithme MPPT peut être plus ou moins compliqué pour rechercher le PPM. Il est basé généralement sur la variation du rapport cyclique du convertisseur statique qui le place sur le PPM en fonction des évolutions des paramètres d'entrée du convertisseur statique (IPV et VPV) qui dépendent fortement de l'ensoleillement et de la température.

Dans la section suivante, nous présentons un bilan sur les différents types d'algorithmes MPPT présents dans la littérature en détaillons l'algorithme MPPT perturber et observer.

### **3.8.2 Bilan sur les différents types d'algorithmes MPPT existants dans la littérature**

Il existe différentes manières de classification des algorithmes MPPT. Cependant il est plus intéressant de les classer selon le nombre de variables (paramètres d'entrée) ou selon la technique utilisée pour la poursuite du MPPT [11].



**Figure 3.10:** Classification des différentes méthodes de poursuite du PPM

Dans notre étude on les classera en trois grands groupes: Offline (indirect), en ligne (direct) et autres techniques (fig 3.2). On se concentrera d'exposer que ceux qui représentent les meilleures performances.

## 3.9. Synchronisation au réseau

### 3.9.1 Exigences de base de raccordement

Le raccordement au réseau de l'installation photovoltaïque nécessite la mise en parallèle des deux systèmes indépendants. Cette opération est donc régie par la loi d'interconnexion des sources qui exige que ces deux systèmes aient la même amplitude et une synchronisation de phase. Le premier critère qui concerne l'amplitude peut être satisfait en agissant tout simplement sur  $m_a$  (indice de modulation) de l'onduleur. Cependant, le réglage de la phase présente une problématique et un défi de taille spécialement en présence de distorsions dans les signaux [11].



### 3.9.1.1 Connexion en parallèle de deux sources d'énergie

Le schéma de la figure 3.11, représente le schéma de connexion d'une source V1 ayant un déphasage  $\theta_1$  et d'une source V2 ayant un déphasage de  $\theta_2$ . La source V1 symbolise l'onduleur qui reçoit son énergie du panneau solaire alors que la source V2, représente le réseau de distribution. Entre les deux sources, l'impédance X représente l'impédance de la ligne. L'opération que l'on désire effectuer est le transfert de puissance de V1 à V2. Ce transfert est régi par les amplitudes de V1 et V2 et par le déphasage  $\theta = \theta_1 - \theta_2$ .

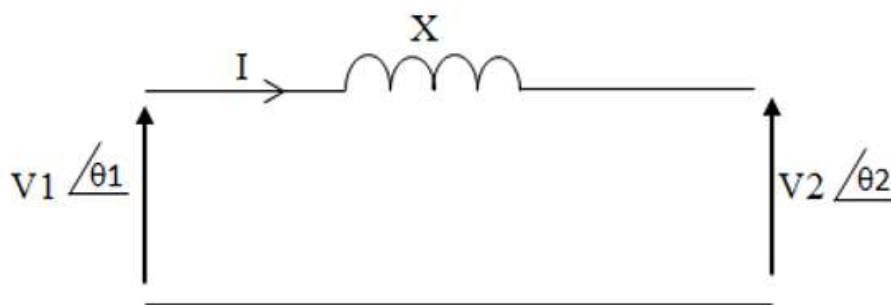


Figure 3.11 :Raccordement en parallèle de 2 sources d'énergie

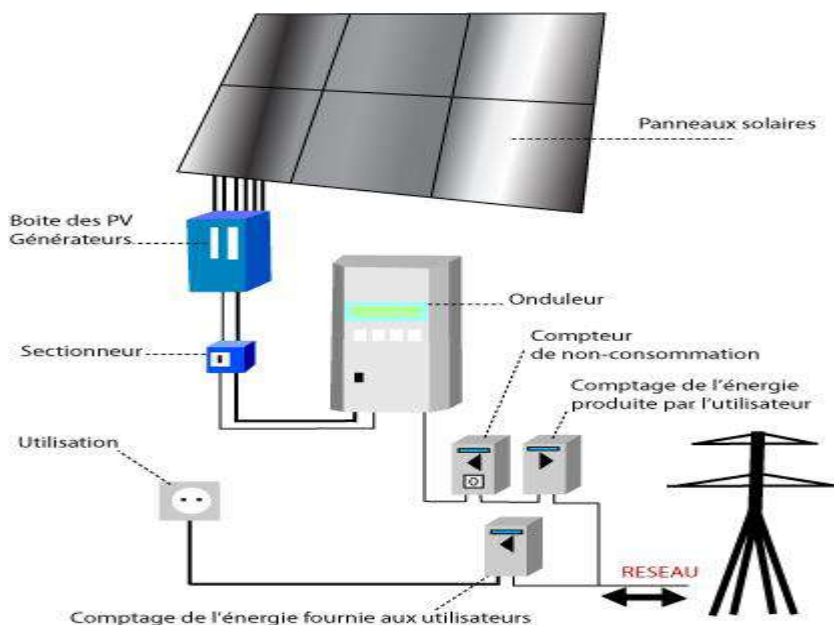


Figure 3.12 : Schéma de la centrale de production d'électricité PV

### **3.10. Conclusion**

Dans ce chapitre on a donné un aperçu sur qualité de l'énergie électrique et classification d'un système solaire photovoltaïque aussi principe de la recherche du point de puissance maximale MPPT.

---

## CHAPITRE 4

# Techniques et Caractéristiques des installations

photovoltaïques. SKTM Unité d'Adrar

---

## 4.1. Introduction

Ce chapitre traitera d'expliquer le travail de Sonelgaz en général et en particulier SKTM et affiché des caractéristiques réelles de chaque étape, à partir de panneaux solaires à travers à l'onduleur jusqu'à poste d'évacuation MT.

## 4.2. SONELGAZ :

Avant l'indépendance de l'Algérie la production d'électricité est assurée par la société française EGA (Electricité et Gaz d'Algérie), d'après l'indépendance du pays EGA reste active jusqu'à 1969, à cause de la décision présidentielle du défunt Houari Boumediene, EGA devient SONELGAZ la société nationale de l'électricité et du gaz. [21]

Aujourd'hui **SONELGAZ** est une grande société contient plusieurs filiales.

### 4.2.1 Les filiales de SONELGAZ :

Sont réparties par pôle de métiers :

- Filiales métiers (production, transport de l'électricité, Transport du gaz, distribution de l'électricité et du gaz).
- Filiales métiers périphériques (logistique, soutien).
- Filiales travaux.

Investissements	530 000 MDA
Puissance Installée	17 088 MW
Production d'électricité	
SPE	31,359 GWh
SKTM	780,3 GWh
Tiers	32,569 GWh
Total	64,7 TWh
Longueur Réseau	
Electricité	330 462 kms
Gaz	100 349 kms
Nombre de clients	
Electricité	8 452 653
Gaz	4 584 168
Ressource Humaine	
Permanents	8 452 653
Temporaires	4 584 168

**Tableau 4.1** : Caractéristiques de 2015 [15]

### 4.3. Shariket Kahraba wa Taket Moutadjadida (SKTM)

Shariket Kahraba wa Taket Moutadjadida, par abréviation SKTM, est une société de production d'électricité conventionnelle pour réseaux isolés du sud et des Energies Renouvelables pour le territoire national. [21]

- SKTM est une société par actions avec un capital souscrit en totalité par Sonelgaz et dont le siège social est situé à Ghardaïa.
- Actionnariat: 100% filiale de la Holding SONELGAZ.
- Création de la société :07/04/2013.
- Accord du MEM portant création de la société : 16/12/2012

#### 4.3.1 SKTM unité d'Adrar

La centrale photovoltaïque d'Adrar s'inscrit dans le cadre du programme nationale de développement des énergies renouvelables mis en place par le ministère de tutelle. C'est une centrale relevant de l'unité de production sud, entité de la filiale de SKTM la mise en service le 12/10/2015. La centrale photovoltaïque SKTM est de superficie de 40 hectares. Elle est située à 10 km du centre-ville de la wilaya d'Adrar, 4 km de la route nationale no06, entourée de terrains vagues et d'un terrain agricole à l'ouest. Les attentes de la réalisation de cette centrale sont : [21]

- ❖ Diversification des sources de production de l'électricité et développement de moyens de production à base d'énergie solaire,
- ❖ énergie annuelle produite par la centrale Photovoltaïque est de : 36414 MWh.
- ❖ Préservation des ressources primaires : économie des combustibles fossiles; (environ de 10080 m<sup>3</sup>/an de gaz)

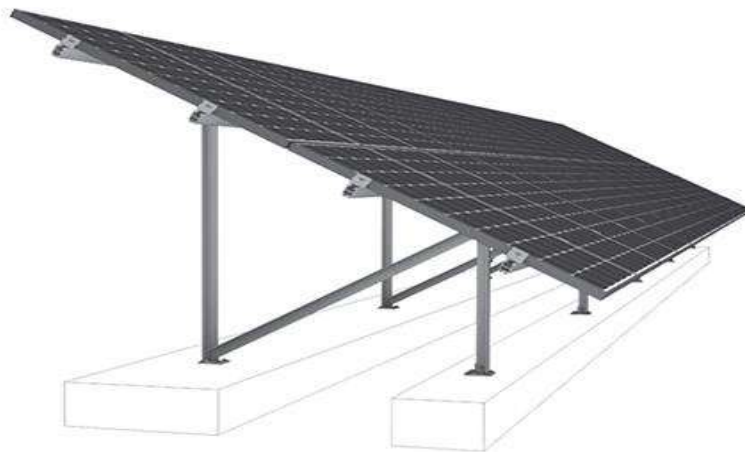


**Figure 4.1:** SKTM adrar sur Google Map

## **4.4. Caractéristiques des composants de la centrale**

### **4.4.1 support des panneaux**

- Fix
- Adapter aux changements de l'environnement
- Supporter le poids des panneaux



**Figure 4.2 :** support des panneaux

### **4.4.2 Caractéristiques électriques d'un Panneaux solaires photovoltaïques**

Les panneaux sont en silicium poly cristallin, orientés vers le sud d'une inclinaison de  $27^\circ$ . Il est mesuré à un spectre solaire AM1.5G, une irradiation  $1000 \text{ W/m}^2$  et une température cellule de  $25^\circ\text{C}$

Marque	YINGLI SOLAR
Type de module	YL245P-29b
Classe d'application	A
Puissance mesurée (W)	245
Tension mesurée (V)	29,6
Courant mesuré (A)	8,28
Fusible série Max (A)	15
Tension à circuit ouvert (V)	37,5
Courant de court-circuit (A)	8,83
Tension système max (V)	1000

**Tableau 4.2** : Caractéristiques électriques des panneaux en silicium poly-cristallin

#### 4.4.3 Boîtes des raccordements

Boîtes jonctions et boîtes parallèles sont disposées dans les sous-champs. Leurs fonctions sont :

- Raccordement des panneaux solaire
- Protection des panneaux solaire

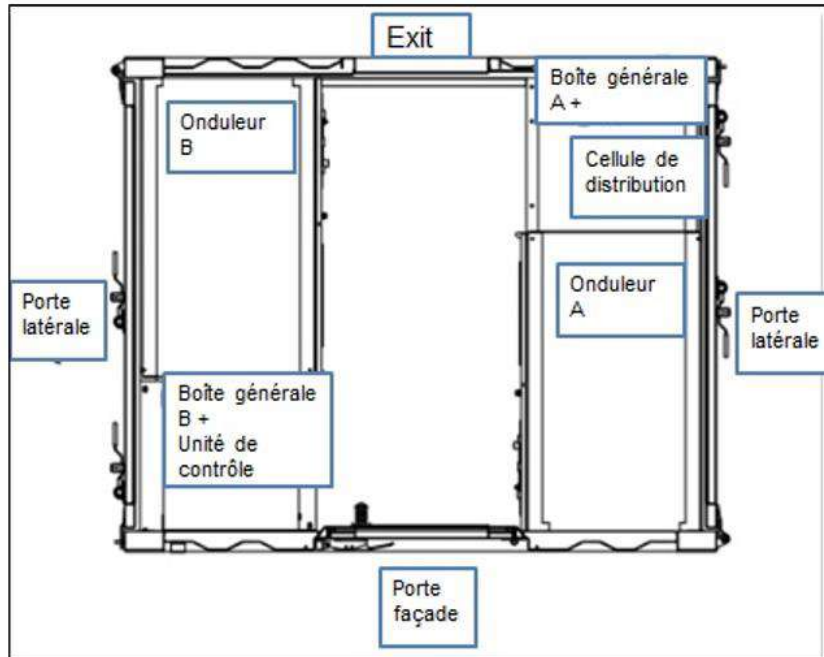
Marque	SUNGROW
Modèle	PMD-D500K
N/S	A1409024534
Date de fabrication	08/09/2014
Puissance nominale	500 kW
Tension maximum DC	1000 V
Max. N° de l'entrée DC	4
Protection IP	IP 20
Température ambiante	-25°C à +60°C
Poids net	230 kg

**Tableau 4.3** : Caractéristiques électriques de la boîte parallèle

Marque	SUNGROW
Modèle	PMD-D125K
Puissance nominale	125 Kw
Tension maximum DC	1000 V
Max. N° de l'entrée DC	4
Protection IP	IP 65
Température ambiante	-25°C à +60°C

**Tableau 4.4** : Caractéristiques électriques de la boîte générale

#### 4.4.4 Onduleur



**Figure 4.3 :** Disposition de l'onduleur

Marque	SUNGROW
Type	SG500MX
Classe de protection	I
Protection IP	IP21
Température de fonctionnement	-30°C à +55°C
Entrée - DC	
Tension max. (V)	1000
ISC (A)	1344
Tension VMPPmin. (V)	500
Tension VMPPmax. (V)	850
Courant d'entrée max. (A)	1120
Catégorie de surtension	II
Sortie - AC	
Puissance de sortie nominale (kW)	500
Tension de sortie nominale (V)	3 315
Fréquence de sortie nominale (Hz)	50
Courant de sortie max. (A)	1008
Facteur de puissance	[-0,9 -1] [0,9 1]
Catégorie de surtension	III

**Tableau 4.5 :** Caractéristiques électriques de l'onduleur



#### 4.4.5 Transformateur

Marque	SUNTEN
Type	SCLB10-1250/30/2 × 0,315
N° de série	D173
Code du produit	ASEB2452-6D
Classe thermique	F
Normes	IEC60076-11
Repère du group d'accouplement	Dy11y11
Valeur limité d'augmentation de température	100K
Capacité nominale	1250kVA
Fréquence nominale	50Hz / 3Phare
Indice de protection	IP 00
Mode de refroidissement	AN/AF
Condition d'utilisation	Type intérieur
Proids total	4960kg
Date de fabrication	10/2014
Classe climatique	C2
Niveau environnelental	E2
Classe de performance de combustion	F1
Coté primaire	
Tension nominale (V)	30000
Courant nominale (A)	24,1
Impédance de court-circuit (%)	6,28
Coté secondaire	
Tension nominale (V)	315/315
Courant nominale (A)	1146/1146
Niveau d'isolation	
Borne de ligne HT LI/AC 170/70kV	Borne de ligne BT LI/AC 20/10kV

**Tableau 4.6** : Caractéristiques électriques du transformateur principal

#### 4.4.6 Poste d'évacuation MT :

Le dispositif de la mesure et de contrôle assure le comptage de la production d'électricité.

Ce sont des cellules métalliques étanches en gaz SF6 constituées de :

- Isolation en SF6
- Jeu de barre fermé
- Système de commande BT

## **4.5. Conclusion**

Dans ce chapitre donné des notions de la société de SONELGAZ et l'SKTM et des caractéristiques des besoins du central, comme les panneaux en silicium poly-cristallin, la boîte générale, l'onduleur et le transformateur.

---

CHAPITRE V :

**Etudes réel des installations  
photovoltaïques. SKTM Unité  
d'Adrar**

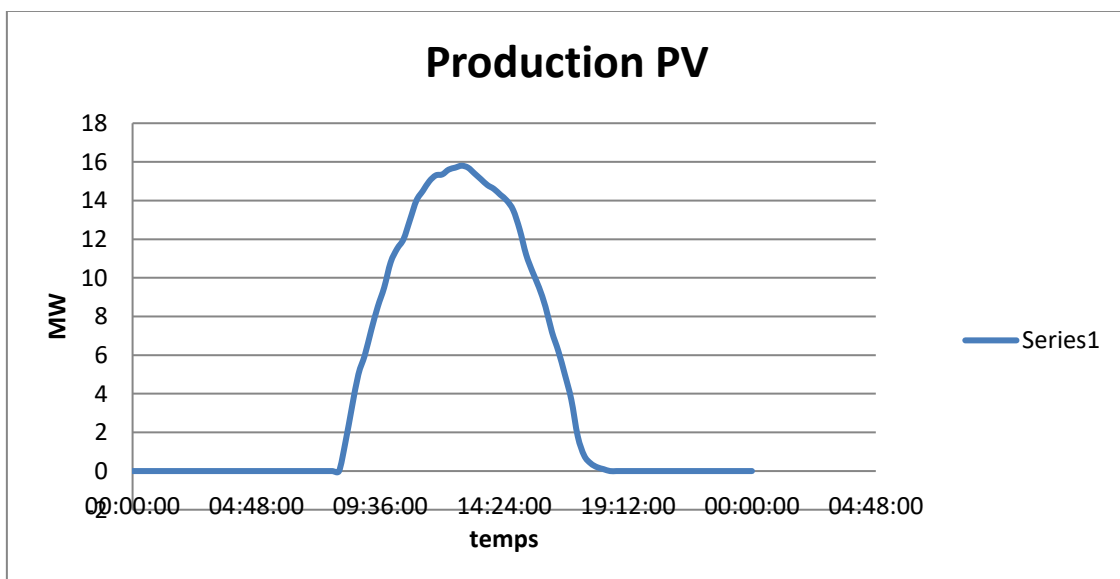
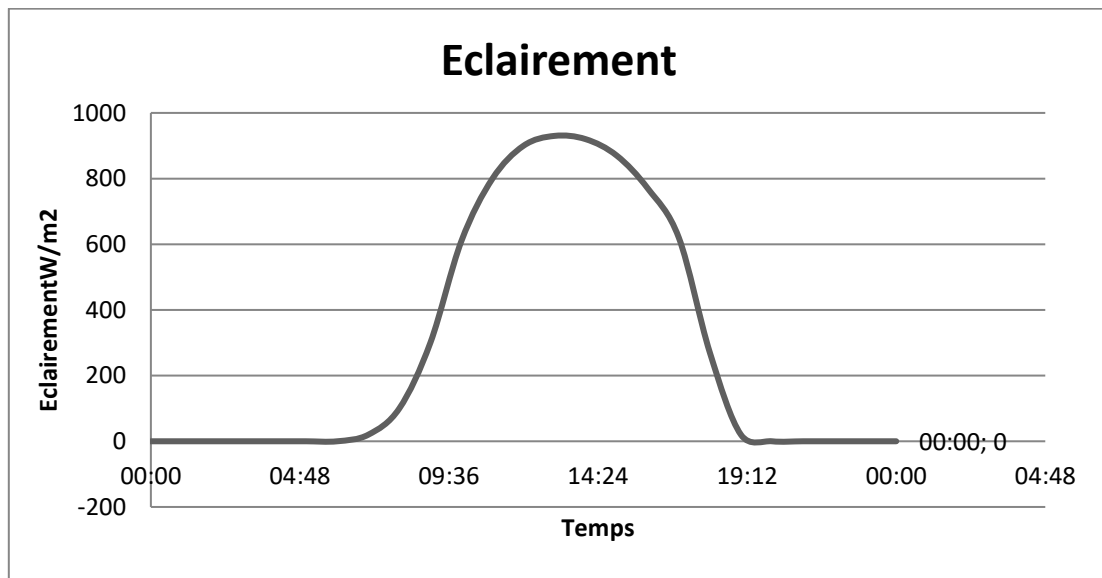
---

## 5.1. Introduction

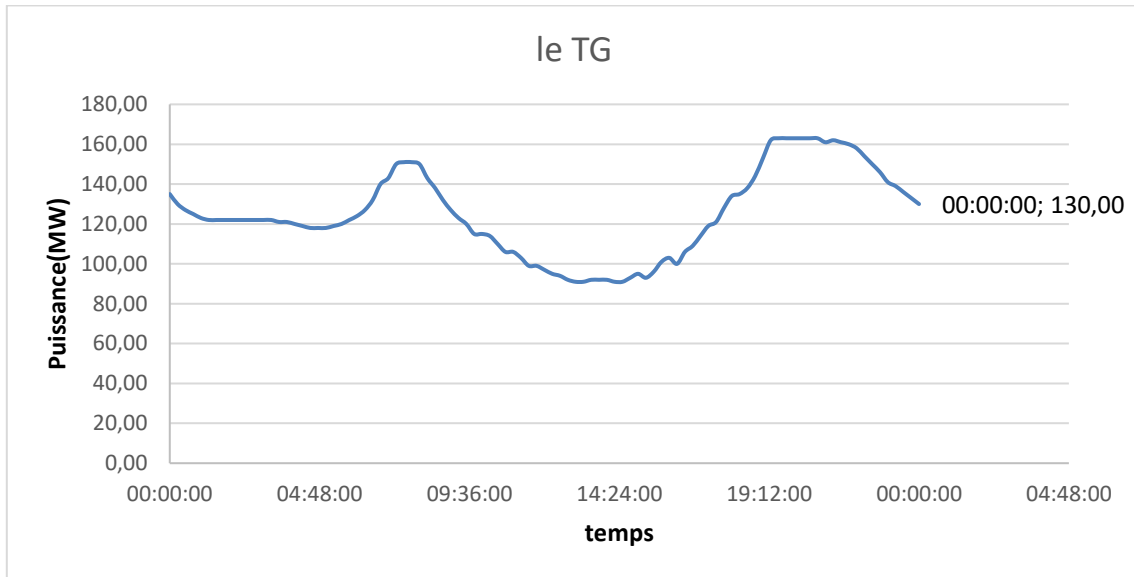
Dans ce chapitre, nous avons trouvé des données réelles de 2 jours qui représentent l'éclairement, la production photovoltaïque, la demande d'électricité, le résiduel et la production d'électricité générale.

## 5.2 Etudes réelles des installations photovoltaïques. SKTM Unité d'Adrar

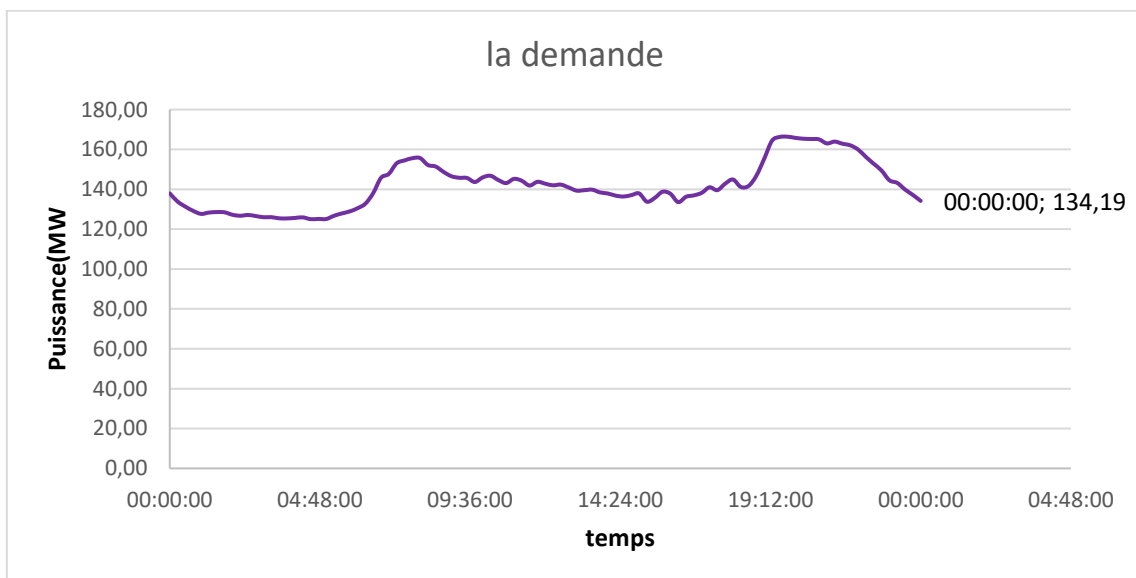
### 5.2.1 La première journée :



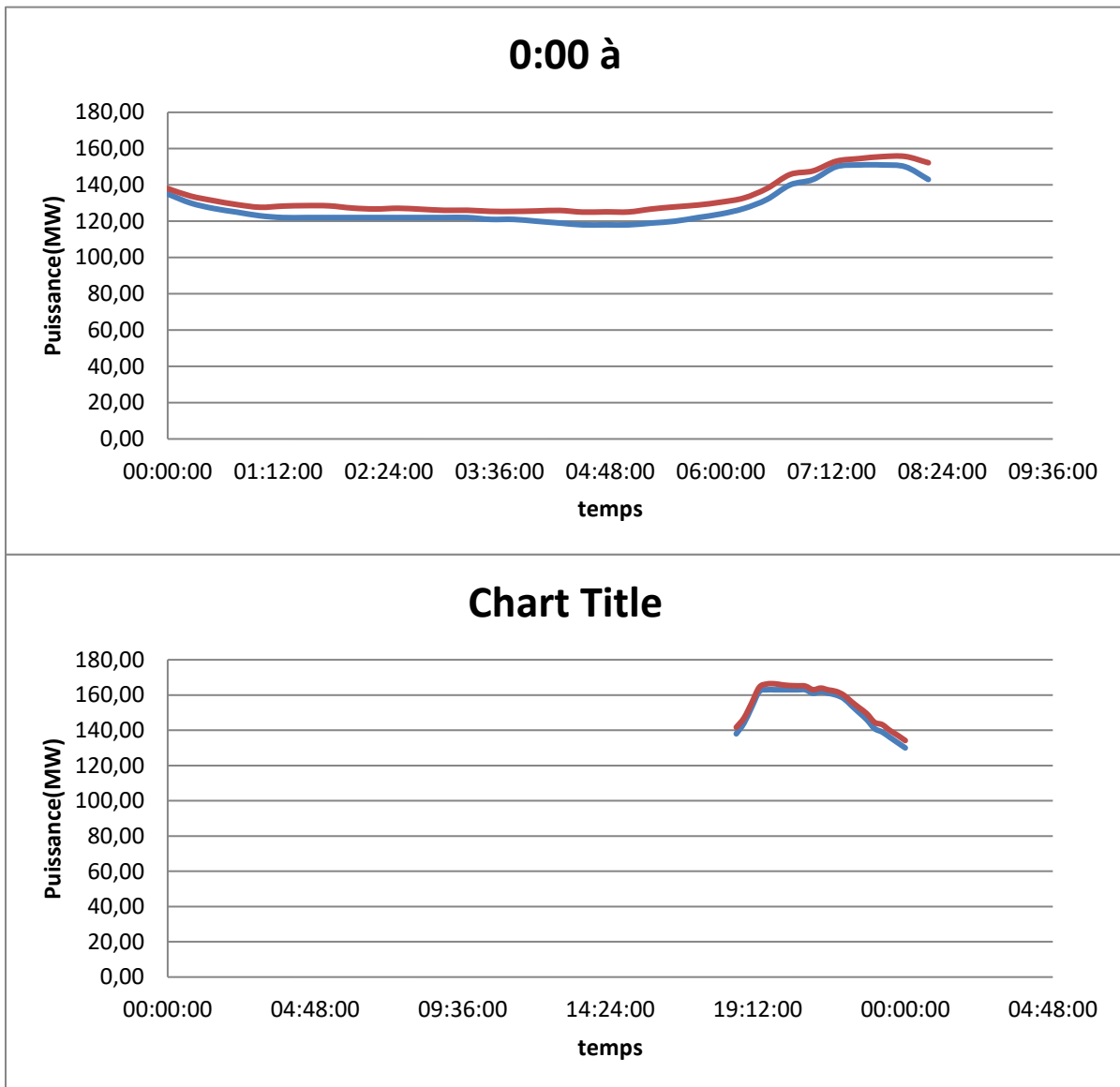
Ce graphe représente la production photovoltaïque sur la 1er journée aussi l'éclairement de cet jour, on observe la production photovoltaïque en début de l'éclairement est augmenter proportionnellement jusqu'à 13h est décroît la production photovoltaïque avec l'éclairement jusqu'à le coucher de soleil.



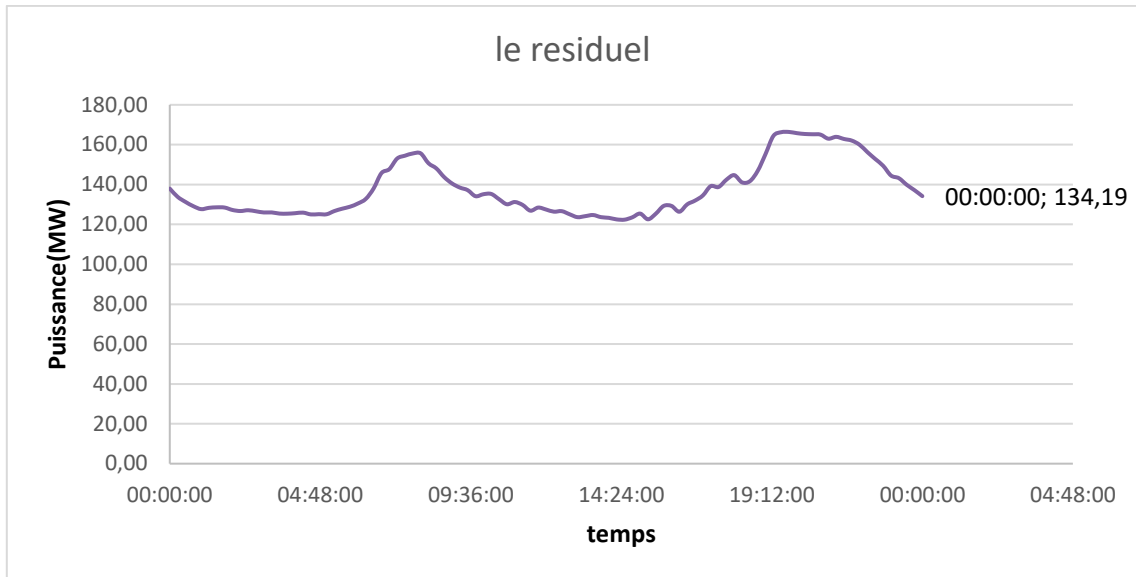
Ce graphe représenté le turbo général TG de la centrale de la 1er journée.



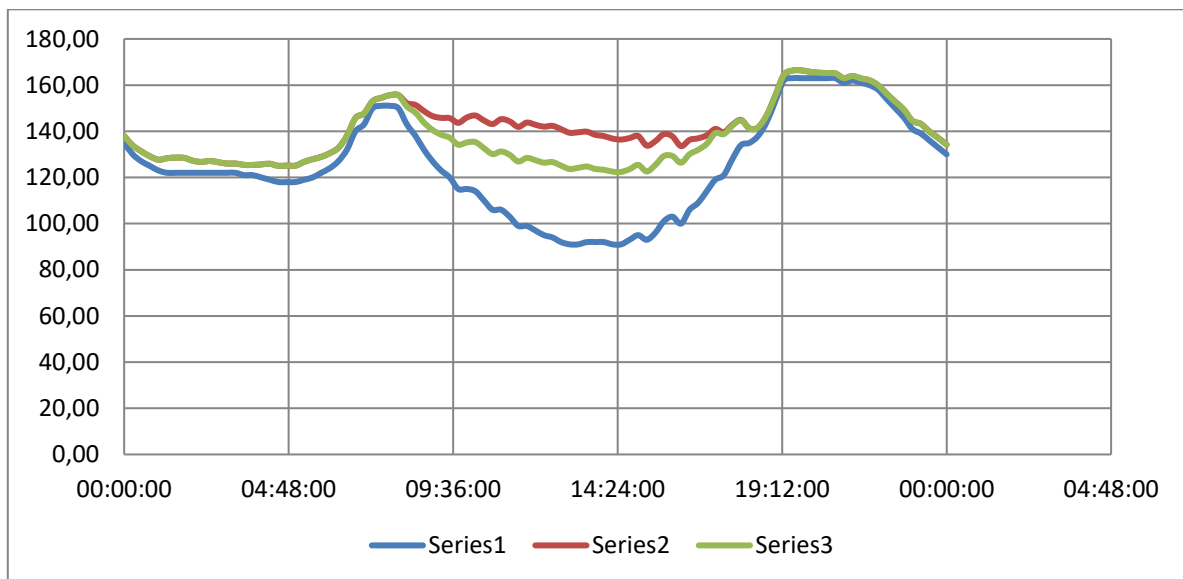
Ce graphe représenté la demande ou le besoin de l'énergie électrique par la première journée.



Ces deux graphes représentés les deux courbes, le besoin d'énergie et la production de la centrale à nuit ; l'espace ou le vide entre les deux courbes c'est la production de l'énergie éolienne.

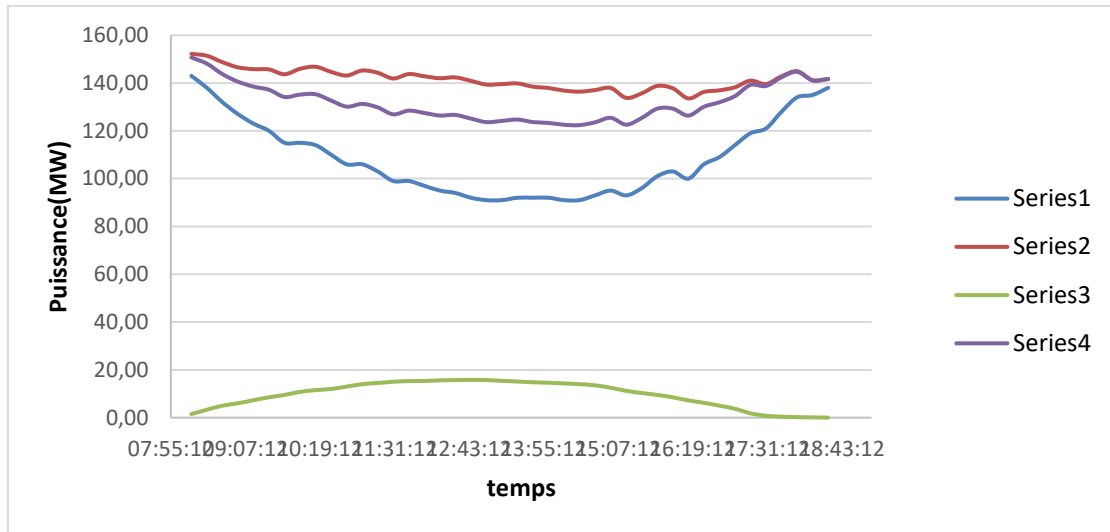


Ce graphe représente l'énergie qui est produite pour le TG avec l'énergie éolienne du premier jour.



Série 1 : le TG. Série 2 : la demande . Série 3 : le résiduel

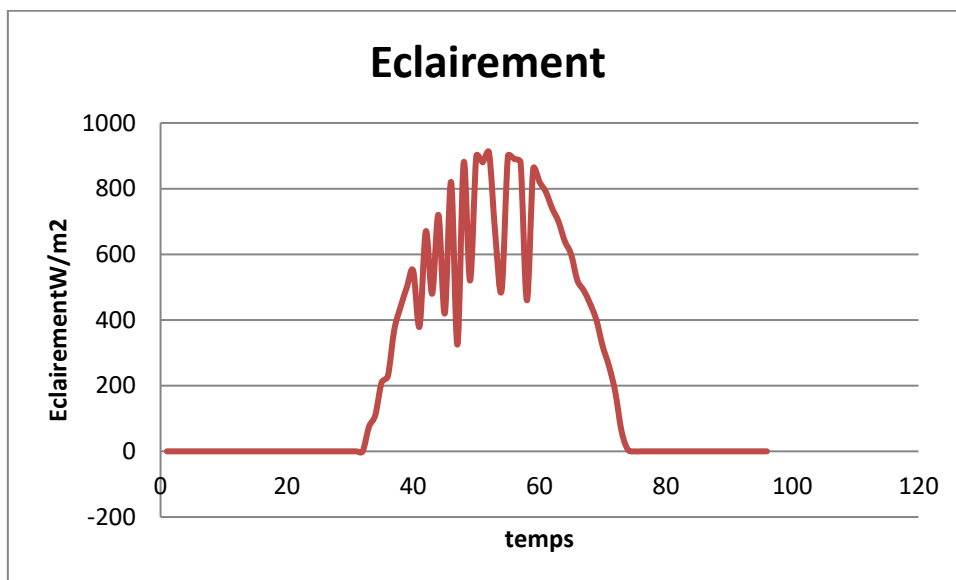
Ce graphe représente les 3 courbes, la demande, la production du Central et le résiduel, à ce jour (il y a des éclaircissements), on remarque un espace très grand par rapport à la nuit, avec le résiduel, cette différence qui explique la production de l'énergie éolienne et l'énergie photovoltaïque.



Série 1 : le TG. Série 2 : la demande. Série 3 : la production PV . Série 4 : le résiduel

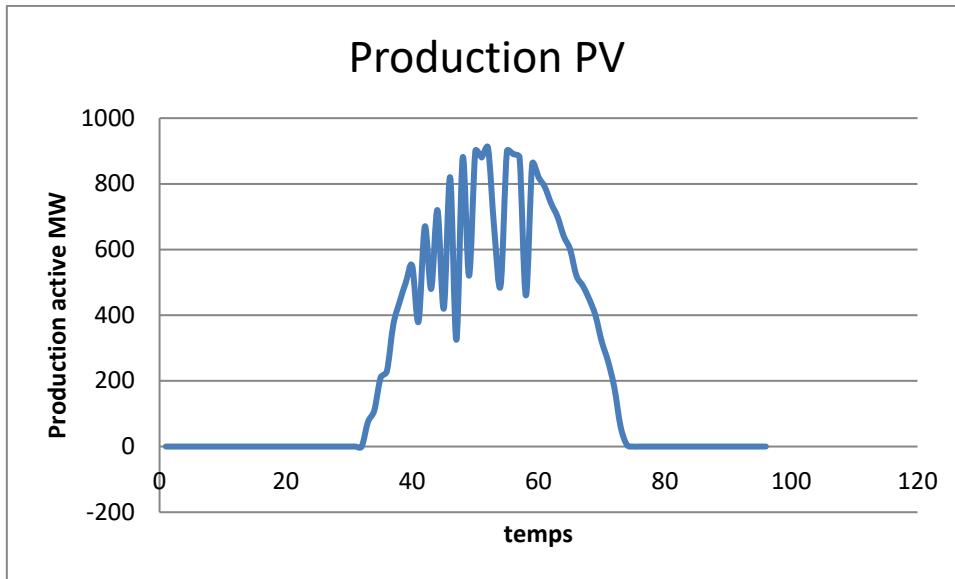
La production photovoltaïque a décroît à la courbe de TG on début de l'éclairément jusqu'à le coucher de soleil, parce que il y a une autre énergie raccorder au réseau électrique, la décroît de la courbe résiduelle est récupérée par la production photovoltaïque à ce jour.

### 5.2.2 La deuxième journée :

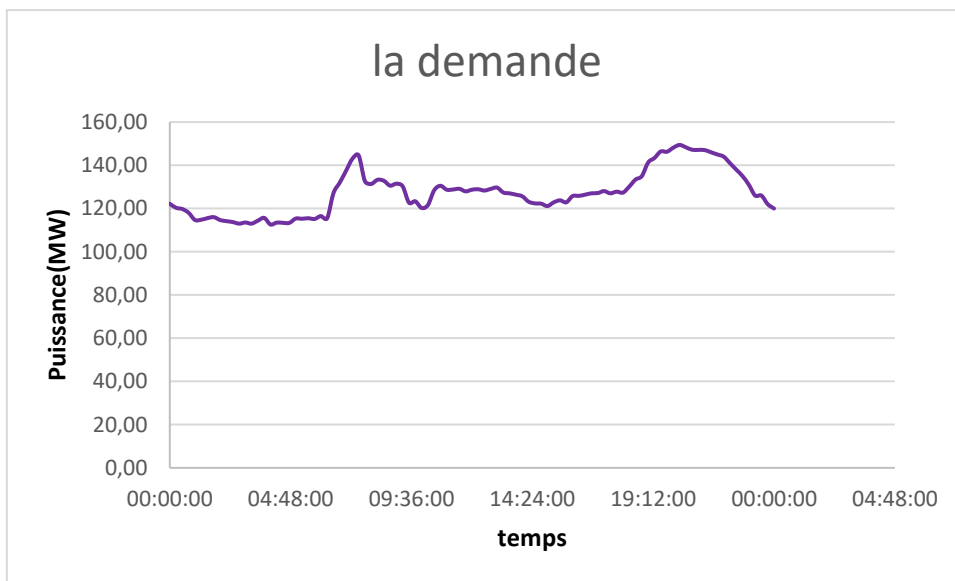


Ce graphe représenté l'éclairément dans un jour instable.

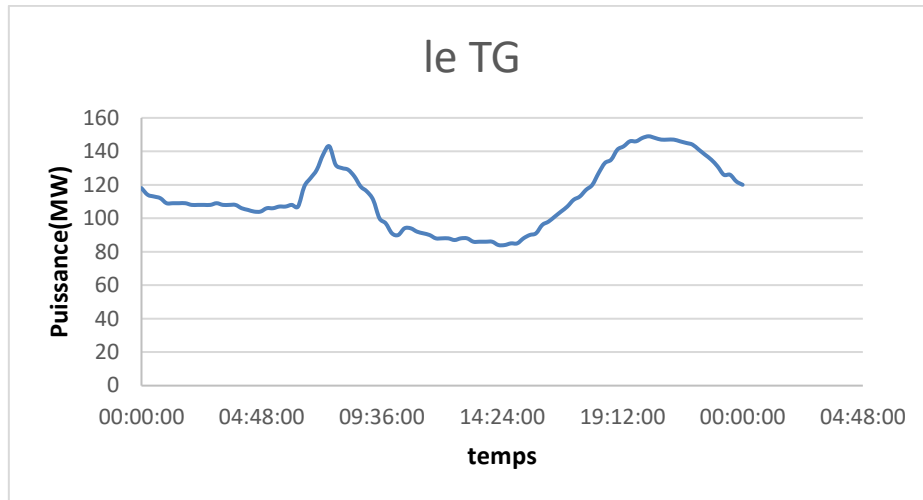




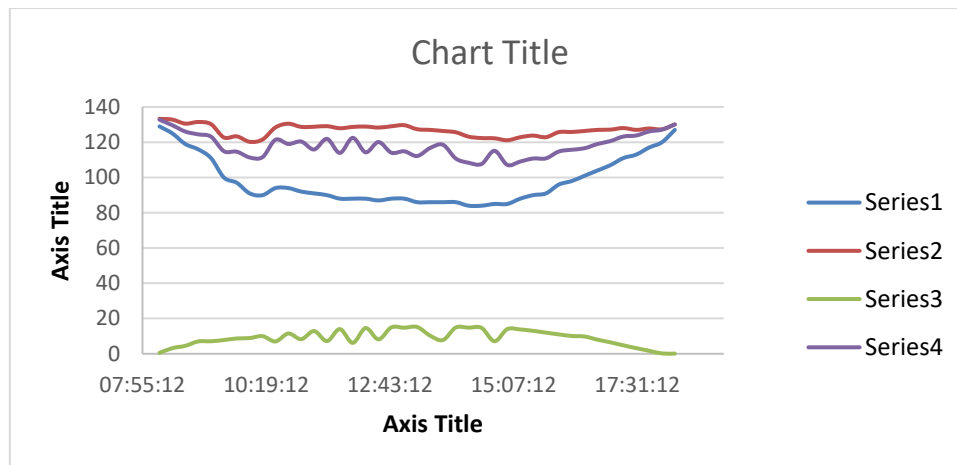
En parallèle, Ce graphe représenté la production photovoltaïque de même jour.



Ce graphe représenté la demande du deuxième jour.



Ce graphe représenté la production de TG de la central du deuxième jour.



Série 1 : le TG. Série 2 : la demande. Série 3 : la production PV. Série 4 : le résiduel

La production photovoltaïque monter et descendre à plusieurs fois, si la production photovoltaïque à augmente la courbe résiduel est décroît ; et le contraire, la courbe de la production photovoltaïque décroît, la courbe résiduel est augmente, ceci explique le but l'injection d'un système photovoltaïque connecter au réseau.

### 5.3 Conclusion

La production électrique est important, mais elle est plus cher ; pour une solution économique, il faut utiliser des énergies renouvelables (propre, gratuit et économique) comme l'énergie éolienne et l'énergie photovoltaïque pour profité le maximum de cet énergie au même temps décroît les énergies fossile par les énergies injection d'un centrale énergies renouvelables connecter au réseau.

## CONCLUSION GENERALE

---

## CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail nous avons fait l'étude de de l'impact de l'injection d'un générateur photovoltaïque connecté au réseau électrique, un étage d'adaptation (convertisseur DC /DC Boost), une charge DC (résistance) et un étage de commande pour piloter le convertisseur par la commande MPPT.

Par ce travail, nous souhaitons d'avoir apporter une contribution à l'étude des caractéristiques photovoltaïques de la cellule solaire, l'étude des systèmes photovoltaïques connectés au réseau électrique et la commandes MPPT classique.

Aussi que affiché des caractéristiques réelles de chaque étape, à partir de panneaux solaires à travers à l'onduleur jusqu'à poste d'évacuation MT. Les systèmes de compensation sont utilisés aussi bien pour éviter l'injection des perturbations au réseau que pour protéger les sources sensibles face aux perturbations présentes sur le réseau. Ces perturbations sont dus à l'intermittence de la source primaire et n'en pas à la configuration de la centrale. L'intermittence de la source primaire n'influe pas sur la stabilité de la puissance globale du réseau mais provoque des perturbations de la production PV qui sont compensés par la production des turbogénérateurs (Stabilité de la fréquence 50 Hz).

## Bibliographique

- [1] Touil Nacer Eddine Ghenbazi Slimane Modélisation et Simulation d'un Système Photovoltaïque MASTER ACADEMIQUE 2015
- [2] Aghilas BRAHIMI Etude de performances d'un capteur solaire plan à eau Mémoire de Master 2 UNIVERSITE DE LORRAINE Faculté des sciences et technologies Nancy 1  
Centre de Développement des Energies Renouvelable CDER de Bouzaréah (Alger) 2015-2016
- [3] Khoudrane Ismail Etude d'un système de poursuite solaire pour les panneaux photovoltaïques UNIVERSITE KASDI MERBAH - OUARGLA 2014
- [4] SAADI SOUAD EFFET DES PARAMETRES OPERATIONNELS SUR LES PERFORMANCES D'UN CAPTEUR SOLAIRE PLAN magistère UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE 2010
- [5] MISSOUM MOHAMMED Contribution de l'énergie photovoltaïque dans la performance énergétique de l'habitat à haute qualité énergétique en Algérie Magistère UNIVERSITE HASSIBA BENBOUALI 2011
- [6] HAMDANI Maamar Etude et Effet de l'Orientation de deux Pièces d'un Habitat en Pierre Situé à Ghardaïa Magister L'UNIVERSITE ABOU-BAKR BELKAÏD – TLEMCEN 2011
- [7] Abdelmadjid KADDOUR Modélisation et simulation d'un concentrateur parabolique solaire à moteur Stirling en vue d'un rendement optimal THESE Pour obtenir le Grade de DOCTEUR UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID-TLEMCEN 2013
- [8] Salaheddine MANSOUR Etude de Dimensionnement optimal d'une station solaire autonome en site isolé Master 2014
- [9] CHEBANA Abdelkrim MASTER Université Mohamed Khider Biskra 2014
- [10] M. SLAMA Fateh Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique Magister UNIVERSITE FERHAT ABBAS - SETIF
- [11] Ayache Khedidja Modélisation et Simulation d'un Générateur Photovoltaïque Couplé à un Réseau Électrique Mémoire de Magister Université Mohamed Chérif Messaâdia de Souk-Ahras 2014
- [12] HADJAB Moufidi DÉVELOPPEMENT DES PERFORMANCES D'UN SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE MAGISTER UNIVERSITE DJILALI LIABES SID I BELAB ES
- [13] Othmane BENSEDDIK Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique Magister UNIVERSITE FERHAT ABBAS - SETIF
- [14] <http://vroum52.com/geographie.html> 22:22 19. 04. 2017
- [15] MAKHLOUF MESSAOUD MODELISATION ET OPTIMISATION DE SYSTEMES DE PRODUCTION D'ENERGIES RENOUVELABLES COUPLES AU RESEAU Pour l'obtention du diplôme de DOCTORAT UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE 2012
- [16] A.TION DE LA @ONCE BIFION D'UNE CENTRALE HYBRIDE PV - DIESEL POUR L'ÉLECTRIFICATION RURALE : Application à la centrale de Dionewar-Niodior UNIVERSITÉ CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR 2005
- [17] MECHALIKH Med Nadjib Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau MASTER ACADEMIQUE UNIVERSITÉ KASDI MERBAH – OUARGLA 2013
- [18] MEDDOUR Youcef Etude de raccordement d'un système photovoltaïques au réseau électrique MASTER ACADEMIQUE UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA 2015

[19] BELKAID ABDELHAKIM Conception et implémentation d'une commande MPPT de haute performance pour une chaîne de conversion photovoltaïque autonome DOCTORAT EN SCIENCES UNIVERSITE FERHAT ABBAS - SETIF2015

[20] Ghenbazi Slimane Modélisation et Simulation d'un Système Photovoltaïque Université Echahid Hama Lakhder d'El-Oued 2015

[21] <http://www.sonegaz.dz/>19. 04. 2017 09:30



## Notation

$S_H$ : Flux direct horizontal.

$C(j)$ : La correction de la distance terre soleil.

$h(i)$  : Hauteur du soleil.

TL: Facteur de trouble.

$M(i)$  : Nombre d'aire masse.

**Isc**: Le courant de court-circuit.

**Voc**: La tension en circuit ouvert.

**Pmax**: Puissance maximale débitée par la photodiode.

**Imax**: Densité de courant au point de puissance maximale.

**Vmax**: Tension au point de puissance maximale.

**FF**: Le facteur de forme.

$\eta$ : Le rendement de conversion d'énergie.

**VcoNs**: la somme des tensions en circuit ouvert de  $N_s$  cellules en série.

**IccNs**: courant de court circuit de  $N_s$  cellules en série.

**IccNp**: la somme des courants de court circuit de  $(N_p)$  cellule en parallèle

**VcoNp**: tension du circuit ouvert de  $(N_p)$  cellules en parallèle