



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Electrotechnique  
Option : Energie renouvelables

Réf:.....

**Mémoire de Fin d'Etudes  
En vue de l'obtention du diplôme:**

**MASTER**

*Thème*

Etude des performances d'une station PV  
autonome

**Présenté par :**  
TRGHINI hichem  
**Soutenu le : 04 Juin 2017**

**Devant le jury composé de :**

**Mr BATKA achour  
Mr Moussi ammar  
Mr GOLIA ammar**

**Professeur  
Professeur  
Professeur**

**Président  
Encadreur  
Examineur**

**Année universitaire : 2016 / 2017**

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Electrotechnique  
Option : Energie renouvelables

Mémoire de Fin d'Etudes  
En vue de l'obtention du diplôme:

**MASTER**

*Thème*

Etude des performances d'une station PV  
autonome

**Présenté par :**

*TERGHINI Hichem*

**Avis favorable de l'encadreur :**

*Professeur MOUSSI Ammar*

*signature*

**Avis favorable du Président du Jury**

**Pr BATKA Achour**

*Signature*

**Cachet et signature**

République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Electrotechnique  
Option : Energie renouvelables

## *Thème :*

Etude des performances d'une station PV  
autonome

Proposé par : Mr Moussi Ammar  
Dirigé par : Mr Moussi Ammar

# REMERCIEMENTS

*Merci au bon dieu le tout puissant.*

*Mes vifs remerciements sont aussi adressés à mon encadreur Mr MOUSSI Ammar Qui m'a proposé le thème de ce mémoire pour ses conseils, ses remarques judicieuses et sa disponibilité, merci d'avoir bien accepté de diriger ce modeste travail.*

*Enfin je remercie toute personne ayant participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

# Sommaire

Introduction générale .....	01
<u>Chapitre 1 : Les énergies renouvelables</u> .....	03
I.1 Introduction .....	03
I.2 Les énergies renouvelables .....	03
I.2.1 L'énergie hydraulique.....	04
I.2.2 L'énergie de la biomasse.....	04
I.2.3 L'énergie de la géothermie.....	05
I.2.3.a La géothermie très basse énergie.....	05
I.2.3.b La géothermie basse énergie.....	06
I.2.3.c La géothermie moyenne énergie.....	06
I.2.3.d La géothermie haute énergie.....	06
I.2.4 L'énergie éolienne.....	06
I.2.5 L'énergie solaire .....	07
I.2.5.a Solaire à concentration thermodynamique .....	07
I.2.5.b Solaire thermique.....	08
I.2.5.c Solaire photovoltaïque.....	09
I.3 Rayonnement solaire .....	09
I.3.1 Spectre du rayonnement.....	09
I.3.2 Les différents types de rayonnement .....	10
I.3.2.a Rayonnement direct RD .....	10
I.3.2.b Rayonnement diffus Rd.....	10
I.3.2.c Albédo .....	11
I.3.2.d Le rayonnement global RG .....	11
I.5 Les systèmes photovoltaïques.....	11
I.5.1 Le type d'un système photovoltaïque.....	12

I.5.1.a Les systèmes connectés au réseau.....	12
I.5.1.b Les systèmes Hybrides .....	13
I.5.1.c Les systèmes Autonomes.....	13
I.6 Conclusion.....	14
<u>Chapitre2 : Systèmes photovoltaïques autonomes</u> .....	15
II.1.Introduction.....	15
II.2.Principe de le conversion photovoltaïque .....	16
II.2.1.Principe de base du photovoltaïque.....	16
II.2.2.La Cellule photovoltaïque.....	16
II.2.3.Principe de fonctionnement .....	16
II.3 Modèle d'une cellule photovoltaïque à une diode.....	17
II.3.1.Puissance d'une cellule PV.....	18
II.4.1.Puissance maximale d'une cellule PV.....	18
II.3.2 Puissance maximale d'une cellule PV.....	18
II.4 les différents type de cellule solaires et leur rendement.....	19
II.4.1.différent types des cellules solaires.....	19
II.4.2.Les avantages et inconvénients des cellules.....	20
II.5 Association de cellules .....	20
II.5.1Regroupement en série .....	21
II.5.2 Regroupement en parallèle.....	22
II.5 Caractéristique Courant-Tension .....	24
II.5.1 Point de fonctionnement optimal ( $v_{opt}$ , $i_{opt}$ ) .....	24
II.5.2 Le rendement .....	25
II.5.2 Facteur de forme .....	25

II.5.4 Zone de fonctionnement du module solaire .....	25
II.5.5 Influence de l'éclairement et la température sur les courbes $I=f(V)$ et $P=f(V)$ .....	26
II.6 Composants de panneau photovoltaïque.....	27
II.7 Le champ photovoltaïque.....	28
II.8 Système de conversion.....	28
II.8.1 Convertisseur continu- continu.....	28
II.8.2 Convertisseur continu-alternatif (onduleur) .....	29
II.9 Stockage de l'énergie.....	30
II.9.1 Les batterie .....	30
II.10 Système de régulation.....	30
II.10.1 Régulation de décharge .....	31
II.10.2 Régulation de la charge .....	31
II.10.3 Régulations de charge série.....	31
II.10.4 Régulateur de charge de coupure.....	32
II.10.5 Régulateur de charge à découpage.....	32
II.10.6 Régulateur de charge série à coupure partielle.....	32
II.10.7 Régulateur de charge parallèle.....	32
II.11 Câblage électrique	
II.11.1 Câblage de liaison	
II.12 protection classiques d'un GPV	
II.13 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque.....	34
II.13.1 Avantage.....	34
II.10.2 Inconvénients.....	35

<u>Chapitre 3 : Le montage étudié</u> .....	36
III.1 Introduction .....	36
III.2.Champs photovoltaïque.....	36
III.3.La Gamme des modules solaires utilisés.....	37
III.4.Batteries acide-plomb .....	38
III.4.1 Composition d'une batterie.....	38
III.4.2 Fonctionnement d'une batterie acide- plomb.....	39
III.4.2.a cycle de charge de la batterie.....	41
III.3.2.b cycle de décharge de la batterie.....	41
III.5 Régulateur de charge des batteries acide -plomb.....	41
III.5.1Description du TriStar.....	44
III.6.l'onduleur .....	46
III.6.1.Les convertisseurs statiques multi niveaux .....	47
III.6.2.Onduleur multi niveaux à diode de bouclage .....	48
III.6.3 Onduleur multi niveaux à condensateurs flottants .....	49
III.7 Onduleur (XANTREX SW série inverter /charger ) .....	50
III.8 Fonctionnement .....	51
III.9Conclusion.....	52
IV.1 Introduction .....	53
IV.2 Introduction logiciel msview –régulateur Tristar.....	53
IV.3 Batteries solaires .....	56
IV.4 L’installation PV utilisée .....	57
IV.5 Observation de fonctionnement de chargeur de batteries	



IV.6 Observation du fonctionnement de la source PV .....	59
IV.7 Observation du fonctionnement de l'onduleur.....	63
IV.8 Conclusion.....	67

## LISTE DES FIGURES

Figure (I.1)	Structure de la production d'électricité mondiale en 2012 sur les énergies renouvelables	04
Figure (I.2)	Les sources de la hydraulique	05
Figure (I.3)	Les sources de la biomasse	05
Figure (I.4)	Les différents types de la géothermie	06
Figure (I.5)	Les sources de l'éolienne	07
Figure (I.6)	Solaire thermodynamique (à concentration)	08
Figure (I.7)	Exemples de module thermiques	08
Figure (I.8)	Spectre du rayonnement solaire	10
Figure (I.9)	Différentes composants du rayonnement global	11
Figure (I.10)	Schéma synoptique décrivant le système photovoltaïque le plus général	13 14
Figure (I.11)	Schéma d'une installation PV connexion réseau	15
Figure (I.12)	Schéma d'une installation hybride	17
Figure (I.13)	Schéma d'une installation PV autonome	17 18
Figure (II.1)	schéma synoptique d'une installation PV isolé	15
Figure (II.2)	Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	17
Figure (II.3)	Schéma équivalent de la cellule solaire à une diode	17
Figure(II.4)	Les différents types de cellules solaires	19
Figure (II.5)	Caractéristique courant tension de $N_s$ cellule en série	21
Figure (II.6)	Caractéristique courant tension de $N_p$ cellule en parallèle	22
Figure (II.7)	Caractéristique courant tension des cellules solaires en série et parallèle	23
Figure (II.8)	Courbes caractéristiques d'un module photovoltaïque Différentes zones de la caractéristique $I=f(V)$ , $T = 25^\circ\text{C}$ .	25
Figure (II.9)	l'influence de l'éclairement sur la caractéristique $I=f(V)$ .	26
Figure(II.10)	L'influence de l'éclairement sur la caractéristique $P=f(V)$ .	26
Figure(II.11)	: L'influence de la température sur la caractéristique $I=f(V)$ .	27
Figure(II.12)	L'influence de la température sur la caractéristique $P=f(V)$ .	27
Figure(II.13)	Module photovoltaïque	28
Figure(II.14)	Schéma de principe d'un régulateur de charge série	31
Figure(II.15)	Schéma de principe d'un régulateur de charge à découpage	32
Figure(II.16)	Schéma de principe d'un régulateur de charge parallèle]	32
Figure(II.17)	Schématisation d'un GPV élémentaire avec diode by-pass et diode anti-retour	34 38
Figure(III.1)	Champ photovoltaïque	39
Figure(III.2 )	Constitution d'une batterie acide -plomb	39
Figure(III.3)	Accumulateur acide-au-plomb chargé	39
Figure(III.4)	Principe de fonctionnement de l'accumulateur acide -plomb	40
Figure(III.5)	Charge et décharge d'un accumulateur	41

## LISTE DES FIGURES

Figure(III-6 )	Courbe de charge et décharge d'une batterie acide -plomb	41
Figure(III.7 )	Schéma fonctionnel d'un régulateur de charge	41
Figure(III.8)	Principes de fonctionnements du régulateur de charge	44
Figure(III.9)	régulateur TS 60	45
Figure(III.10)	branchement du régulateur TS 60	46
Figure( III.11)	programmation du régulateur selon le type de batterie Onduleur sinusoïdale	46
Figure( III.12)	Onduleur sinusoïdale	47
Figure (III.13)	Les différentes topologies des onduleurs multi niveaux	47
Figure(III.14)	Onduleur multi niveaux à diode de bouclage	48
Figure(III.15)	Onduleur multi niveaux à diode de bouclage	49
Figure(III.16)	Structure en phase d'un onduleur multi niveau en cascade	50
Figure(III.17)	Onduleur Xantrax SW3048E	51
Figure(III.18)	schéma fonctionnel simplifié de l'onduleur série SWTrace™	51
Figure(III.19)	Onde Sinusoïdale de Sortie de l'Onduleur Série SW Trace™	52
Figure(IV.1)	menu principale du logiciel MSVIEW	54
Figure(IV.2)	détection de l'équipement	55
Figure(IV.3)	détection réussi de l'équipement	55
Figure(IV.4)	choix des paramètres désirés	56
Figure(IV.5)	raccordements des batteries	57
Figure(IV.6)	photo de l'installation PV utilisée	58
Figure(IV.7)	schéma de raccordement d'un système PV autonome	59
Figure(IV.8)	allure de la fonction : tension de la batterie	59
Figure(IV.9)	allure de la fonction : courant de charge	60
Figure(IV.10)	allure de la fonction : Tension des panneaux	61
Figure(IV.11)	allure de la fonction : commande MLI de régulateur	62
Figure(IV.12)	vue du champ photovoltaïque utilisé	62
Figure(IV.13)	Caractéristique courant - tension pour différentes valeur d'éclairéments	63
Figure(IV.14)	Onde Sinusoïdale de Sortie de l'Onduleur Série SW Trace™	64
Figure(IV.15)	Onduleur multi niveaux en H	64
Figure(IV.16)	Onde de sortie obtenue à partir de 'n' pont en H	65
Figure(IV.17)	zoom de la tension de sortie de l'onduleur a vide tension de sortie	66
Figure(IV.18)	de l'onduleur pour différent courant décharge	67

## Liste de Tableau

### Chapitre II

Tableau I.1 : différent types des cellules solaires : ..... 9

Tableau I.2 : Avantages et inconvénients des cellules photovoltaïques : ..... 9

### chapitre III

Tableau II.4 : caractéristiques du module : ..... 34

# Liste des symboles

- m/s : Mètre par seconde
- kWc/m<sup>2</sup> : kilowatt crête par mètre carré
- PV : photovoltaïque
- GPV : générateur photovoltaïque
- CC : Courant continu
- CA : Courant alternatif
- PPM : points de puissance maximale
- VOC : tension de circuit ouvert
- ICC : courant de court-circuit
- E : éclairage
- ISAT : (A) courant de saturation en ampère
- VT (V) : potentiel thermodynamique en volt
- T (K) : la température effective de la cellule
- e (C), : charge de l'électron, en coulomb
- ICELL(A) : courant fourni par la cellule en ampère
- VCELL(V) : la tension aux bornes de la cellule en volt
- RP( $\Omega$ ), : la résistance de shunt caractérisant les courants de fuites de la jonction, en ohm
- RS( $\Omega$ ), : la résistance série représentant les diverses résistances des contacts et de connexions.
- Ah : Ampère heure ,Capacité de la batterie
- Vm : Tension maximale
- Im : courant maximal
- MLI : modulation de largeur d'impulsions
- PWM : Pulse With Modulation,

DC : Courant Continu (Direct Current).

AC : Courant Alternatif (Alternating Current).

## Résumé

L'énergie solaire photovoltaïque est considérée comme une énergie propre et gratuite non polluante par rapport aux énergies fossiles. L'alimentation d'un site isolé, peu peuplé, avec l'énergie électrique n'est pas faisable en termes économiques à cause du prix élevé. Avec sa situation géographique l'Algérie dispose d'un gisement solaire très important à cause de ça nous trouvons dans l'énergie solaire la solution parfaite pour les zones isolées.

Nous nous sommes concentrés sur la façon de tirer parti de cette énorme source d'énergie pour produire de l'électricité. selon les ingrédients mentionnés dans la présente note, A partir de l'apparition de la lumière sur les cellules solaires, on constate, le rôle de régulateur et d'expédition et l'exécution du travail de la batterie, l'alimentation en électricité

ملخص

تعتبر الطاقة الكهروضوئية طاقة مجانية و نظيفة بديلة عن المصادر التقليدية الملوثة للبيئة . إن التغذية بالطاقة الكهربائية في المناطق المعزولة ذات كثافة سكانية قليلة غير مجدي من الناحية الاقتصادية . و عليه بالنظر للموقع الجغرافي للجزائر نجد في الطاقة الشمسية الحل الأمثل للمناطق المعزولة

ركزنا على كيفية الاستفادة من هذا المصدر الهائل من الطاقة لتوليد الكهرباء ، وهذا بالمكونات المذكورة في هذه المذكرة ، بدءا من وقوع الضوء على الخلايا الشمسية حتى الحمولة ، وهذا بدور منظم الشحن وكذا كيفية تطبيق عمل البطارية . مما سيوفر فكرة أكثر وضوحا لتشغيل ما يمكننا تشغيله من الكهرباء

## INTRODUCTION GENERALE

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir. En effet, les besoins énergétiques des sociétés industrialisées ne cessent d'augmenter. Par ailleurs, les pays en voie de développement auront besoin de plus en plus d'énergie pour mener à bien leur développement. De nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir de sources fossiles. La consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution. Le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures.

Par énergie renouvelable, on entend des énergies issues du soleil, du vent, de la chaleur de la terre, de l'eau ou encore de la biomasse. A la différence des énergies fossiles, les énergies renouvelables sont des énergies à ressource illimitée. Les énergies renouvelables regroupent un certain nombre de filières technologiques selon la source d'énergie valorisée et l'énergie utile obtenue. La filière étudiée dans cette thèse est l'énergie solaire photovoltaïque.

Il existe de nombreux sites isolés dans le monde, alimentés par des systèmes autonomes de génération d'électricité. Ces générateurs utilisent les sources renouvelables locales. On y trouve des panneaux photovoltaïques, des éoliennes et des micro turbines. L'électricité provenant des sources renouvelables est intermittente, et dépendante des conditions climatiques.

Ces générateurs renouvelables sont couplés généralement à un système de stockage assurant une disponibilité en continue d'énergie. Le générateur renouvelable sélectionné pour notre étude est un champ photovoltaïque (PV) avec un système de stockage, le stockage est assuré par des batteries. Ce système, appelé systèmes PV-Batteries. Le type de stockage généralement utilisé dans ce système est la batterie au plomb. La maturité dont cette technologie fait preuve et son faible coût en sont les raisons principales. L'utilisation de ces batteries à l'échelle saisonnière est inenvisageable. Elles ne peuvent rester longtemps inutilisées sans conséquences néfastes sur leur durée de vie. Leur fonctionnement journalier (décharge et recharge complètes sur quelques jours) permet d'installer une faible capacité de stockage. Mais l'état de charge maximal des batteries est atteint d'autant plus rapidement que cette capacité installée est faible. Afin de protéger les batteries



contre une recharge excessive, on doit les déconnecter de l'installation. Il est alors impossible d'utiliser la totalité de la ressource renouvelable.

Les travaux vont avoir lieu au niveau du laboratoire des énergies renouvelables de l'université mohamed khider Biskra où un banc d'essai a été exploité. Ce dernier est un système de production de l'énergie électrique à partir de l'énergie photovoltaïque. Pour la

poursuite on-line du flux d'énergie, un logiciel dédié à cet effet est utilisé. MSVIEW est destiné à poursuivre un grand nombre de variables tel que les courants, tension et l'état du système. Plusieurs essais vont être développés pour comprendre le principe de fonctionnement global du système ainsi que les caractéristiques techniques de chaque élément constitutif de la station PV. Pour mener cette étude à terme, le mémoire est scindé en quatre chapitres comme suit :

Le premier chapitre est consacré à l'exposé des différentes énergies renouvelables tout en définissant pour chacune d'elle son principe et modalité d'utilisation en mettant l'accent sur l'énergie solaire photovoltaïque. En plus de ces définitions, on montre la distinction entre les deux types de systèmes photovoltaïques à savoir les systèmes autonomes et Les systèmes Hybrides et ceux connectés aux réseaux

Le deuxième chapitre définit le système PV autonome, ses constituants qui sont : Le générateur photovoltaïque, les batteries de stockage, le régulateur de charge de batteries, l'onduleur A tous ces éléments ; une charge au choix est raccordée selon le cas. Le même chapitre définit aussi le comportement générale de ces éléments quand ils sont exploités dans un montage quelconque.

Quant au troisième chapitre il est consacré entièrement au banc d'essai et particulièrement aux éléments de taille par marque utilisés du montage: l'onduleur Xantrax 3048E pouvant convertir une tension d'entrée de 48V et supporter une puissance de 3 KVA .dans le même chapitre on s'intéresse aussi au régulateur de charge de batterie qui n'est autre que le TRISTAR- 60, et enfin on expose l'autre élément du montage : Les batterie solaire autour duquel plusieurs recherches ont été menées depuis leur invention, nous allons utiliser les batteries de plomb-acide 12V/100Ah.

Finalement, le mémoire sera clôturé par une conclusion générale suite aux résultats des essais et les observations faites sur les différentes courbes visualisées et les données extraites par le logiciel d'interfaçage MSVIEW.



## I.1 Introduction

Une énergie renouvelable est une source d'énergie se renouvelant assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de temps humaine. Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (rayonnement), mais aussi la Lune (marée) et la Terre (énergie géothermique). Soulignons que le caractère renouvelable d'une énergie dépend non seulement de la vitesse à laquelle la source se régénère, mais aussi de la vitesse à laquelle elle est consommée. En d'autres termes, sa vitesse de formation doit être plus grande que sa vitesse d'utilisation. Comme leur nom l'indique, il s'agit de sources qui se renouvellent et ne s'épuisent donc jamais à l'échelle du temps humain ! Les sources non renouvelables sont les énergies fossiles comme le pétrole, le charbon et le gaz dont les gisements limités peuvent être épuisés. Les sources renouvelables sont l'énergie solaire, éolienne, hydraulique, géothermique, marine et la biomasse.

## I.2 Types d'énergies renouvelables

Le potentiel de l'énergie renouvelable en Algérie est le plus important d'Afrique du Nord. Le marché des énergies renouvelables est prometteur et leur promotion constitue l'un des axes de la politique énergétique et environnementale du pays [1]. Le développement et l'exploitation de ces énergies ont connu une forte croissance ces dernières années. D'une année à l'autre, le système énergétique durable est basé sur l'utilisation rationnelle des sources traditionnelles et sur un recours accru aux énergies renouvelables à savoir :

- L'énergie Hydraulique
  
- La biomasse
  
- L'énergie éolienne
  
- L'énergie géothermique
  
- L'énergie solaire

Ce qui les caractérise est de ne pas produire d'émissions polluantes (ou peu), et ainsi de produire durablement de l'énergie sans conséquences négatives sur l'environnement. Cependant, le caractère aléatoire des sources impose des règles particulières de dimensionnement et d'exploitation des systèmes de récupération d'énergie. La figure (I.1) présente la production mondiale d'électricité en 2012 sur les énergies renouvelables [2].

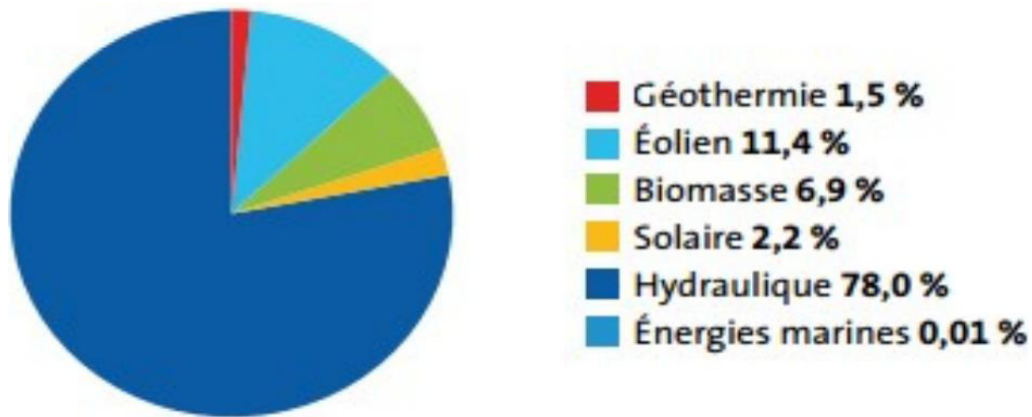


Figure I.1 : Structure de la production d'électricité mondiale en 2012 sur les énergies renouvelables

### I.2.1 L'énergie hydraulique

L'eau comme source d'énergie. L'énergie hydraulique exploite directement cet élément naturel, à partir des marées et courants marins, des vagues ou de la rencontre de l'eau douce et de l'eau salée. L'énergie thermique des mers est aussi utilisée, notamment générée par la différence de température entre les eaux profondes et les eaux de surface. figure (I.2) :



figure (I.2) : Les sources de la hydraulique

### I.2.2 L'énergie de la biomasse

Issue des matières organiques l'énergie biomasse comprend le bois, les biocarburants (provenant de végétaux comme le colza ou la betterave) ou encore le biogaz. Cette énergie est produite par la combustion ou la métabolisation de matières organiques. figure (I.3) .



Figure I.3 : Les sources de la biomasse

Le plus grand avantage de l'énergie de la biomasse c'est qu'elle est renouvelable, les plantes et les arbres peuvent être cultivés afin d'être utilisés et elle participe au traitement et la destruction des déchets organiques.

### **I.2.3 L'énergie de la géothermie**

La géothermie est une énergie renouvelable acquise par l'extraction de l'énergie contenue dans le sol. Elle est couramment utilisée pour le chauffage et dans certains cas pour la production d'électricité. Il s'agit d'une énergie qui ne dépend pas des conditions atmosphériques. Voici les différents types de géothermie, figure (I.4)

#### **I.2.3.a La géothermie très basse énergie**

Le premier type de géothermie est l'énergie géothermique très basse énergie. Cette ressource concerne généralement les aquifères d'une profondeur de 30 à 120 mètres. La température exploitée est encore très basse et varie entre 10 et 30°C. Toutefois, elle peut très bien chauffer, climatiser ou même produire de l'eau chaude dans une habitation individuelle disposant d'une pompe à chaleur.

#### **I.2.3.b La géothermie basse énergie**

Également appelée basse enthalpie ou basse température, la géothermie basse énergie ou au sage direct exploite les bassins sédimentaires pour produire de la chaleur. La géothermie basse énergie sert à extraire de l'eau souterraine dans des gisements poreux situés à plus de 1500 mètres de profondeur. La température varie de 30 à 90°C. Le niveau de chaleur est idéal

pour le chauffage ou la production d'eau chaude d'une habitation collective, voire une industrie.

### 1.2.3.c La géothermie moyenne énergie

Se présentant sous forme de vapeur humide ou d'eau chaude à une température atteignant les 150°C, la géothermie moyenne température se niche dans les zones propices à la géothermie de moyenne enthalpie se trouvant à une profondeur inférieure à 1000 mètres ou dans les bassins sédimentaires situés entre 2000 et 4000 mètres de la croûte terrestre. A une telle profondeur, la géothermie moyenne énergie est capable d'alimenter un réseau électrique d'une habitation pour faire fonctionner des appareils électriques (chauffe-eau, luminaires, lampes, spot-lumière-led ...).

### 1.2.3.d La géothermie haute énergie

Au-delà des différentes utilisations de l'énergie géothermique, la géothermie haute énergie a pour objectif d'exploiter les gisements profonds à des températures très élevées supérieures à 150°C, pour des usages purement industriels. Des travaux de forage sont obligatoires pour atteindre les réservoirs de chaleur se situant généralement à plus de 1500 mètres de profondeur.

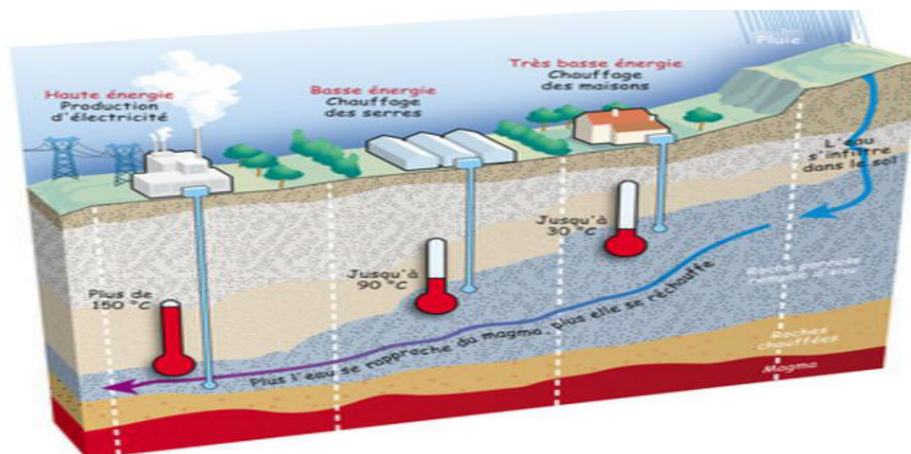


Figure I.4 Les différents types de la géothermie

### 1.2.4 L'énergie éolienne

La force éolienne est connue et exploitée depuis des milliers d'années au travers des moulins à vent et de la navigation, par exemple. Aujourd'hui, nous pouvons exploiter cette énergie à l'aide d'hélices spéciales qui emmagasinent le vent et de machines qui le transforment en

énergie électrique. Les éoliennes sont installées sur terre et en mer dans des endroits où le vent atteint une vitesse élevée et constante.

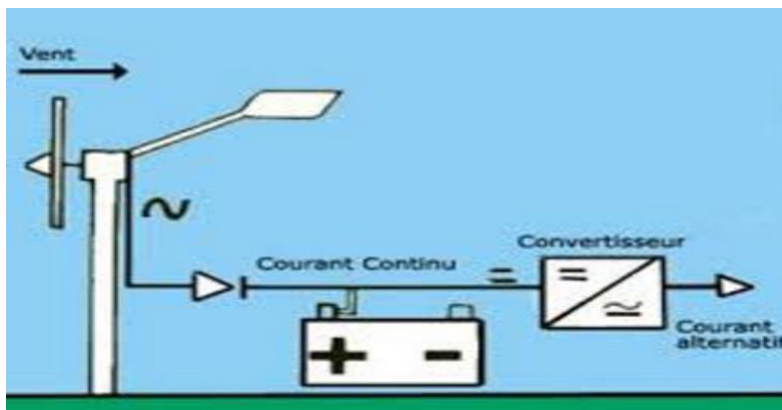


Figure I.5 : Les sources de l'éolienne

L'énergie mécanique produite par la rotation des pales est transformée en énergie électrique grâce à un générateur.

## I.2.5 L'énergie solaire

L'énergie solaire est produite par le rayonnement du soleil et la lumière. L'énergie est soit collectée par un système photovoltaïque qui est obtenue directement à partir du rayonnement des photons, soit thermique qui utilise la chaleur émise par le rayonnement. Il existe principalement trois façons d'utiliser directement l'énergie solaire:

la thermodynamique, la thermique et le photovoltaïque.

### I.2.5.a Solaire à concentration thermodynamique

Le solaire à concentration thermodynamique est une technologie qui utilise des miroirs qui concentrent l'énergie solaire vers un tube contenant un fluide caloporteur, la chaleur obtenue est transférée à un circuit d'eau, la vapeur alors produite actionne une turbine couplée à un alternateur qui produit de l'électricité. [3]



Figure I.6 :Solaire thermodynamique (à concentration)

### I.2.5.b Solaire thermique

Le principe de l'énergie thermique consiste à transformer le rayonnement solaire en énergie thermique grâce à un fluide qui circule dans des panneaux exposés au soleil. Cette forme de conversion d'énergie peut être directe si on veut uniquement chauffer de l'eau sanitaire. Par contre, si on veut générer de l'électricité, il faudra utiliser des générateurs qui convertissent l'énergie thermique générée en électricité (par exemple, moteurs à air chaud) .



Figure 1.7:Exemples de module thermiques

### I.2.5.c Solaire photovoltaïque

Contrairement à l'énergie solaire thermique qui utilise le soleil comme source de chaleur, l'énergie solaire photovoltaïque utilise le soleil comme source de lumière en transformant en électricité l'énergie des photons arrivant à la surface de la Terre. La lumière



solaire (photons) transmet son énergie aux électrons contenus dans un semi-conducteur (qui constitue une cellule photovoltaïque).

Cette transformation (effet photovoltaïque) est sans action mécanique, sans bruit, sans pollution et sans combustible.

### **I.3 Rayonnement solaire**

Le soleil est une étoile parmi tant d'autres. Il a un diamètre de 1390000 km, soit environ 50fois celui de la terre. Il est composé de 80% d'hydrogène, 19% d'hélium et 1% d'un mélange de 100 éléments, soit pratiquement tous les éléments chimiques connus depuis que Langevin et Perrin, s'appuyant sur la théorie de la relativité d'Einstein, ont émis l'idée il y a une soixantaine d'années que c'est l'énergie de fusion nucléaire qui fournit au soleil sa puissance, il est aujourd'hui admis que le soleil est une bombe thermonucléaire hydrogène –hélium transformant chaque seconde 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions tonnes d'hélium; la réaction se faisant dans son noyau à la température d'environ 25 millions de degrés Celsius. Ainsi, à chaque seconde, le soleil est allégé de 4 millions de tonnes dispersées sous forme de rayonnement [04].Sa lumière, a une vitesse de 300000 km/s, met environ 8 minutes pour parvenir à la terre. Sa distribution spectrale de l'atmosphère présente un maximum pour une longueur d'onde d'environ 0,5  $\mu\text{m}$ , la température du corps noir à la surface du soleil est d'environ 5780° k.

-Diamètre du soleil :  $D_s = 1.39.10^9\text{m}$

-Diamètre de la terre :  $D_t = 1.27.10^7\text{m}$

-Distance moyenne soleil-terre :  $L_{ts} = 1.5.10^{11}\text{m}$

#### **I.3.1 Spectre du rayonnement**

Un rayonnement électromagnétique est composé de «grains» de lumière appelés photons.

L'énergie de chaque photon est directement liée à la longueur d'onde  $\lambda$ . Le spectre du rayonnement extraterrestre correspond environ à l'émission d'un corps noir porté à 5800 °K. Une courbe standard, compilée selon les données recueillies par les satellites, est désignée sous le nom de AM0 [5], [6]. Sa distribution en énergie est répartie en:

- 9% dans la bande des ultraviolets ( $<0,4 \mu\text{m}$ ),

- 47% dans la bande visible (0,4 à 0,8  $\mu\text{m}$ ),
- 44% dans la bande des infrarouges (>0,8  $\mu\text{m}$ ).

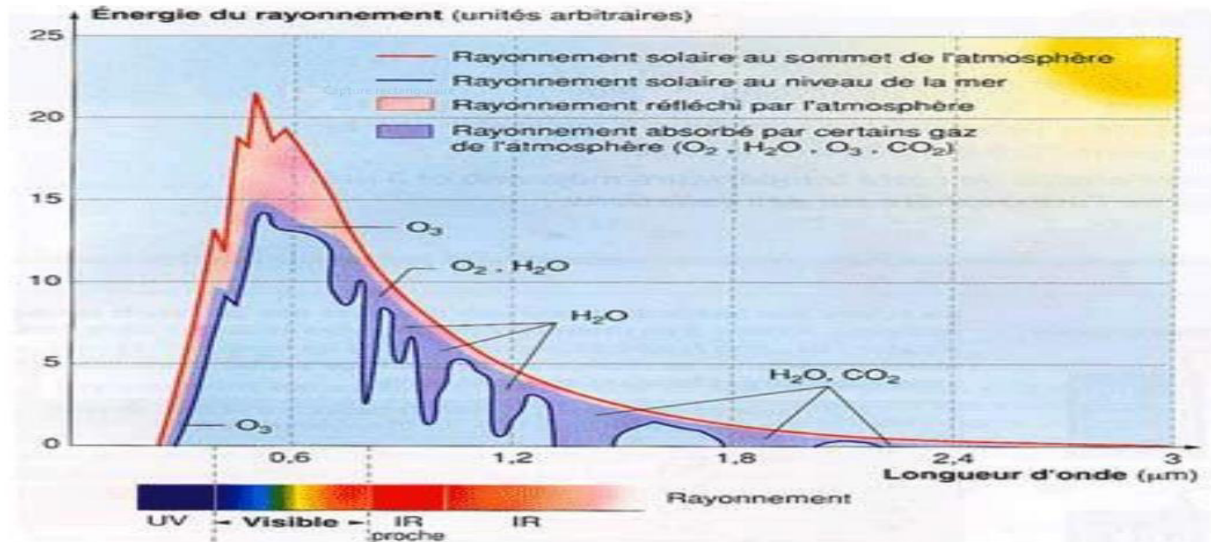


Figure I.8 : Spectre du rayonnement solaire

## I.3.2 Les différents types de rayonnement

### I.3.2.a Rayonnement direct RD

Est le rayonnement reçu directement du Soleil. Il peut être mesuré par un Pyhéliomètre. [7]

### I.3.2.b Rayonnement diffus Rd

Est le rayonnement provenant de toute la voûte céleste. Ce rayonnement est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire par l'atmosphère et à sa réflexion par les nuages. Il peut être mesuré par un pyranomètre avec écran masquant le soleil.

### I.3.2.c Albédo

Le rayonnement solaire réfléchi ou l'albédo du sol est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige) [07]

### I.3.2.d Le rayonnement global RG

Est la somme de tous les rayonnements reçus, y compris le rayonnement réfléchi par le sol et les objets qui se trouvent à sa surface comme montre la Figure (I.9). Il est mesuré par un pyranomètre ou un Solari mètre sans écran. [07]

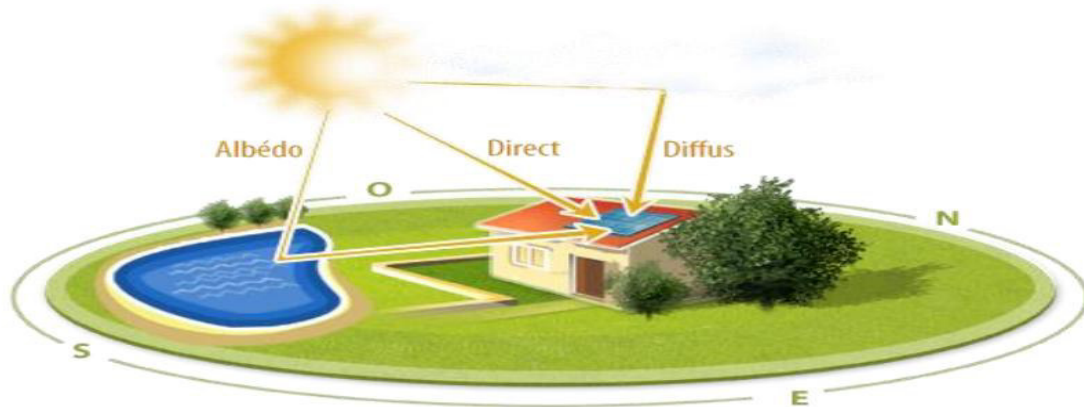


Figure I.9: Différentes composantes du rayonnement global

## I.5 Les systèmes photovoltaïques

Un système photovoltaïque est constitué du générateur précédemment décrit, généralement associé à l'un ou plusieurs des éléments suivants:

- un système d'orientation ou de suivi (rencontré assez rarement sous nos latitudes),
- une gestion électronique (stockage, mise en forme du courant, transfert de l'énergie),
- un stockage palliant la nature aléatoire de la source solaire,
- un convertisseur DC/AC
- une charge en courant continu basse tension ou en courant alternatif standard.

La figure (I.10) représente symboliquement les divers éléments du système le plus général. Dans la pratique, bien sûr, les systèmes utilisent les éléments appropriés au type de charge et aux conditions locales. [8]

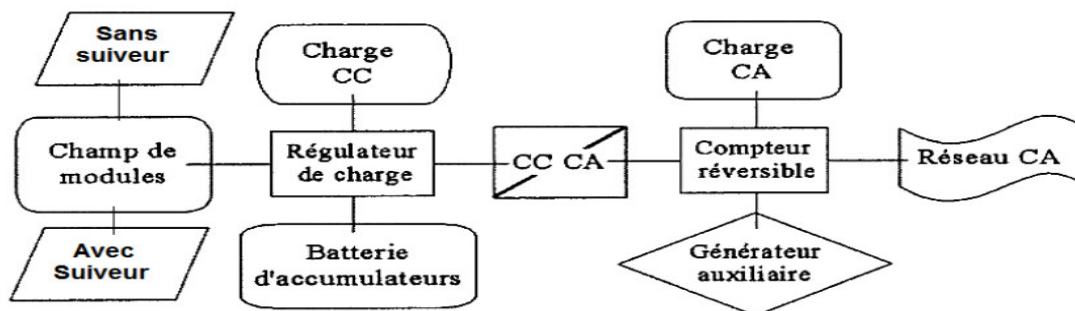


Figure I-10 : Schéma synoptique décrivant le système photovoltaïque le plus général

## I.5.1 Le type d'un système photovoltaïque

Il existe trois grandes familles de systèmes solaires photovoltaïques. Par ordre d'importance, on peut citer :

### I.5.1.a Les systèmes connectés au réseau

Dans lesquels la production d'électricité est vendue en totalité ou partiellement sur le réseau électrique. La connexion se fait par l'intermédiaire d'un onduleur piloté à la fréquence du réseau. Cet onduleur doit être capable d'accepter les variations de tension et de puissance propres au système PV et d'opérer, instantanément, au point de puissance maximale. Dépendant de la tension du réseau au point de connexion, il est nécessaire d'utiliser des transformateurs avec les protections appropriées. Les systèmes connectés au réseau conventionnel ne comportent pas, normalement de batteries, le réseau servant de stockage. L'étude de systèmes photovoltaïques se ramène à l'étude de l'adaptation de la charge. On recherchera à optimiser le système pour avoir le meilleur rendement d'adaptation du système.

La composition d'un système connecté au réseau comporte:

- Le générateur photovoltaïque
- L'onduleur avec ou sans transformateur
- Le comptage de l'énergie

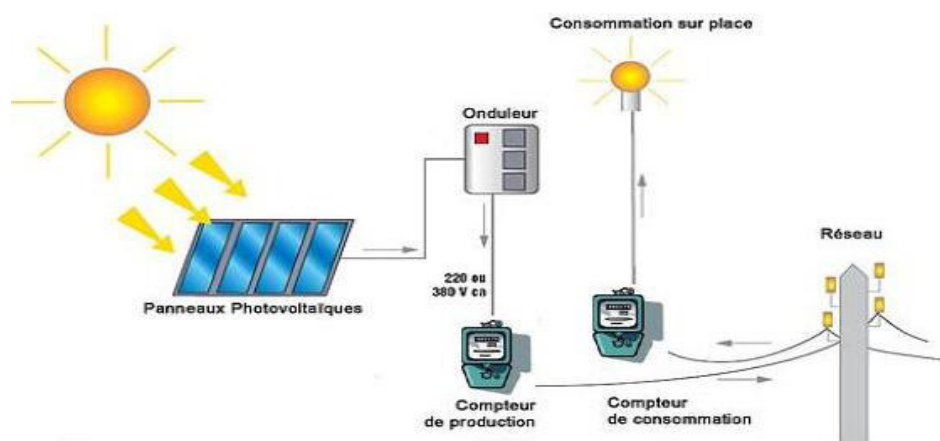


Figure I-11 : Schéma d'une installation PV connexion réseau

### I.5.1.b Les systèmes Hybrides

Qui permettent de combiner une source d'énergie renouvelable à une source d'énergie fossile telle que l'hybridation des groupes diesel en exploitant les meilleures caractéristiques de chaque technologie.

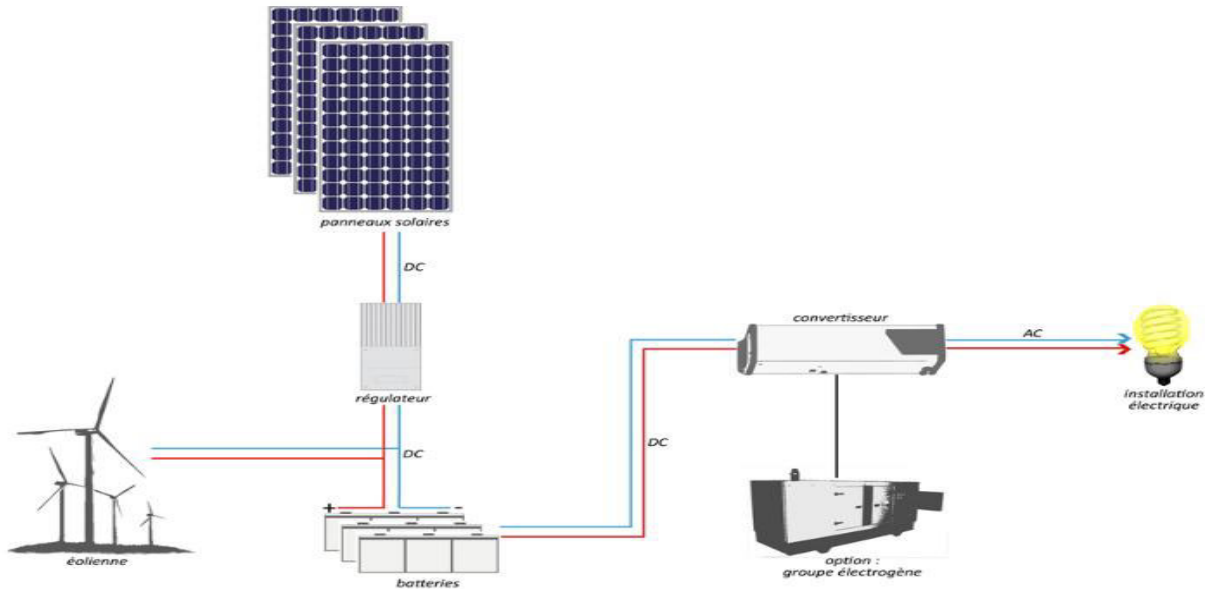


Figure I-12 : Schéma d'une installation hybride

## I.5.1.c Les systèmes Autonomes

Permettent de produire de l'énergie électrique dans les régions isolées, le système est généralement dimensionné pour répondre aux besoins journaliers. Il existe deux catégories.

1. Les systèmes PV avec stockage électrique (batterie d'accumulateurs électrochimiques). Ceux-ci alimentent des appareils d'utilisation :

- soit directement en courant continu.
- soit en courant alternatif par l'intermédiaire d'un convertisseur continu-alternatif (onduleur).

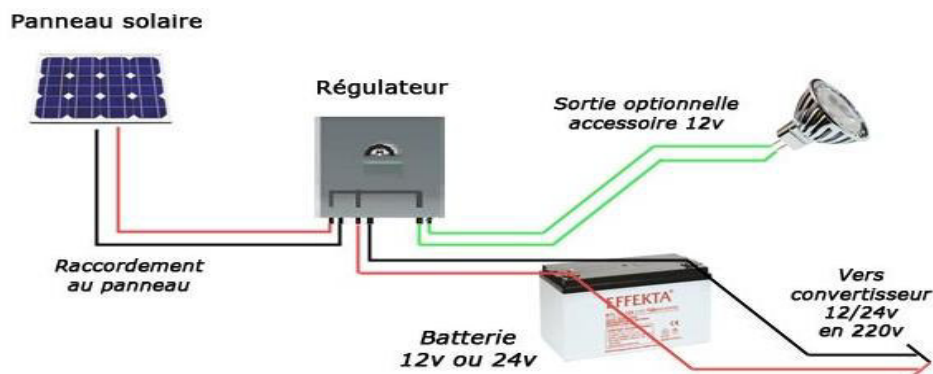


Figure I-13 :Schéma d'une installation PV autonome

2. Les systèmes à couplage direct sans batterie (fonctionnement dit aussi "au fil du soleil"). Les appareils d'utilisation sont branchés soit directement sur le générateur solaire, soit, éventuellement, par l'intermédiaire d'un convertisseur continu-continu (adaptateur d'impédance). Pour les systèmes sans batterie, il y a possibilité d'avoir recours à une forme de stockage qui ne soit pas de nature électrochimique. (Pompage: stockage par réservoir d'eau).

### **I.6 Conclusion**

Energie fournies par le soleil, le vent, la chaleur de la terre, les chutes d'eau, les marées ou encore la croissance des végétaux, les énergies renouvelables n'engendrent pas ou peu de déchets ou d'émissions polluantes. Elles participent à la lutte contre l'effet de serre et les rejets de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, facilitent la gestion raisonnée des ressources locales, génèrent des emplois. Le solaire (solaire photovoltaïque, solaire thermique), l'hydroélectricité, l'éolien, la biomasse, la géothermie sont des énergies flux inépuisables par rapport aux « énergies stock » tirées des gisements de combustibles fossiles en voie de raréfaction : pétrole, charbon, lignite, gaz naturel. Entrez dans l'univers des énergies renouvelables

# Chapitre 2

## Les systèmes photovoltaïque Autonomes

## **II.1.Introduction**

L'installation photovoltaïque autonome produit de l'électricité pour un bâtiment ou un autre consommateur qui n'est pas relié au réseau. La plupart de ces installations alimentent des sites éloignés de tout réseau public (habitat en montagne par exemple ou sur une île à accès difficile) ou des instruments isolés (comme des relais de télécommunication, bouées de signalisation maritime, signalisations autoroutières, etc.). Pour une utilisation en courant continu, un régulateur électronique assure la charge d'une batterie d'accumulateurs (généralement en 12 V pour les petites installations). Il permet d'arrêter la charge des batteries lorsque celles-ci sont complètement chargées et de couper le courant dans le circuit de consommation avant que les batteries ne soient complètement déchargées. Pour le stockage de l'énergie produite par le champ photovoltaïque, on utilise des batteries pour ses fins. Les plus utilisées d'entre elles sont au plomb, en raison de leur faible coût et de la simplicité de leur mise en œuvre. Dans le cas où les appareils électriques utilisés sont prévus pour fonctionner avec du courant alternatif, un onduleur est nécessaire. La figure(II-1) représente le schéma synoptique d'une installation PV isolé. Pour les deux cas de charges (alternative et continue)

Après quoi, un système PV est composé de :

- Des modules (ou panneaux) solaires.
- Des batteries de stockage
- D'un régulateur de charge de batteries
- D'un onduleur
- La charge

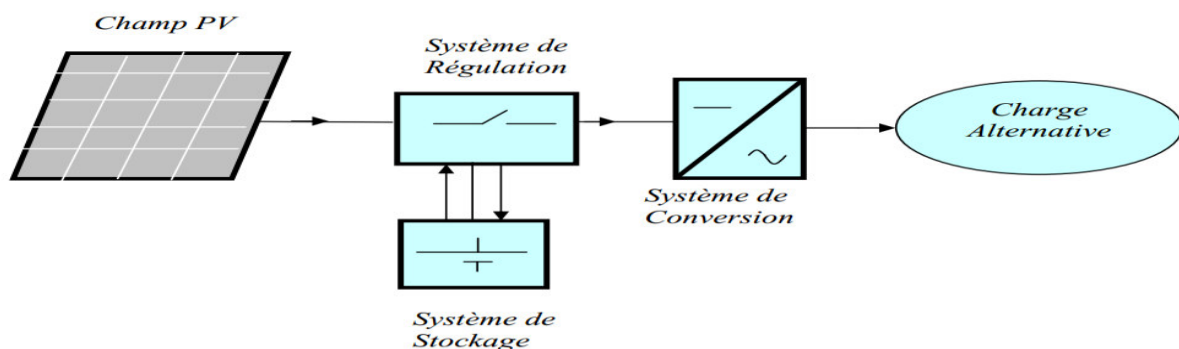


Figure II-1 schéma synoptique d'une installation PV isolé



## II.2.Principe de le conversion photovoltaïque

### II.2.1.Principe de base du photovoltaïque

L'effet photovoltaïque est le phénomène par lequel on utilise la lumière afin de produire de l'électricité. Cette transformation est réalisée grâce à des cellules photovoltaïques, qui regroupées entre elles, constituent des modules photovoltaïques (aussi appelés panneaux photovoltaïques). Plus concrètement, l'effet photovoltaïque est obtenu par absorption des photons dans un matériau semi-conducteur tel que le silicium (Si). L'origine du mot photovoltaïque vient d'une part du terme photos qui signifie lumière en grec et d'autre part du nom du célèbre physicien italien Alessandro VOLTA connu pour ses nombreux travaux sur l'électricité.

### II.2.2.La Cellule photovoltaïque

La cellule ou photopile photovoltaïque est un composant opto-électrique, Composé d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse et la transforme directement en énergie électrique. Le principe de fonctionnement de cette cellule fait appel aux propriétés du rayonnement solaire et à celles des semi-conducteurs

### II.2.3.Principe de fonctionnement

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur, figure ci-dessus. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et dopée de type p. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p. La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p chargée négativement Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p. Une jonction PN a été formée

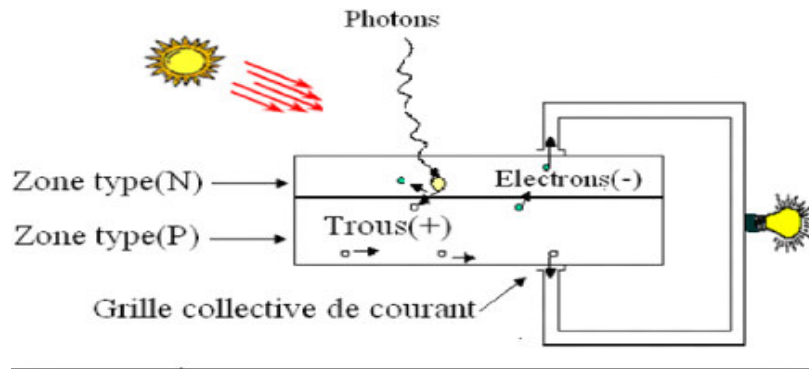


Figure II.2: Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

### II.3. Modèle d'une cellule photovoltaïque à une diode

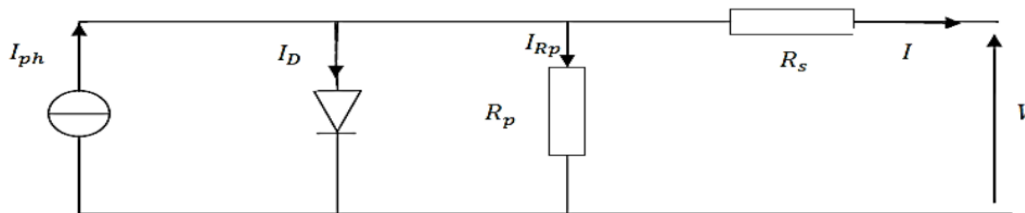


Figure II.3 : Schéma équivalent de la cellule solaire à une diode

Le choix du modèle à cinq paramètres, permet d'effectuer une analyse et une évaluation des performances du module photovoltaïque, le plus proche de la réalité. Ce modèle représente la cellule solaire comme source de courant qui modélise la conversion du flux lumineux en énergie électrique. La résistance montée en série  $R_s$  représente la résistance de contact et de connexion, une autre résistance en parallèle dite la résistance shunt  $R_p$  représente le courant de fuite. Une diode en parallèle qui modélise la jonction PN

A partir du circuit équivalent de la figure (II.3), on peut écrire :

$$I_{ph} = I_D + I + I_{Rp} \tag{1}$$

Le courant qui passe dans la résistance  $R_p$  est donné par :

$$I_{Rp} = \left( \frac{V + R_s \cdot I}{R_{Rp}} \right) \tag{2}$$

Le courant dans la diode est donné par :

$$I_D = I_0 \cdot \left( \exp\left(\frac{V + R_s \cdot I}{nV_t}\right) - 1 \right) \tag{3}$$

Avec  $I_0$ : courant de saturation de la diode donné par

$$I_0 = K_1 T^3 \exp\left(\frac{E_g}{Kt}\right) \quad (4)$$

Où :

$$V_t = \left(\frac{Kt}{q}\right) \text{ tension thermique à la température } T \quad (5)$$

$q$  : charge de l'électron ( $1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

$K$  : constante de Boltzmann ( $1.381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ )

$K_1$  : constante ( $1.2 \text{ A/cm}^2 \text{ K}^3$ )

$n$  : facteur de non idéalité de la jonction

$T$  : température effective de la cellule en degré Kelvin

$E_g$  : énergie de gap (pour le silicium cristallin est égale à 1.12 eV)

Donc l'expression de la caractéristique  $I(V)$  est :

$$I = I_{ph} - I_0 \cdot \left( \exp\left(\frac{V + R_s \cdot I}{nV_t}\right) - 1 \right) \cdot \left( \frac{V + R_s \cdot I}{R_{RP}} \right) \quad (6)$$

### II.3.1 Puissance maximale d'une cellule PV

Pour une cellule solaire idéale, la puissance maximale  $P_{max}$ , idéal correspondrait donc à la tension de circuit ouvert  $V_{co}$  multipliée par le courant de court-circuit  $I_{cc}$ :

$$P_{max, idéal} = V_{co} \cdot I_{cc} \quad (7)$$

$P_{max, idéal}$  (W): La puissance fournie par la cellule PV.

$V_{co}$  (V) : La tension de circuit ouvert mesurée aux bornes de la cellule PV.

$I_{cc}$  (A) : L'intensité de court-circuit débitée par la cellule PV.

En pratique, la courbe caractéristique d'une cellule PV est plus "arrondie", et la tension au point de puissance maximale  $V_{pmax}$  est inférieure à la tension de circuit ouvert  $V_{co}$ , de même que le courant fourni  $I_{pmax}$  est inférieur, pour cette même tension, au courant de court-circuit  $I_{cc}$ . L'expression de la puissance en ce point est donnée par:

$$P_{max} = V_{pmax} I_{pmax} \quad (8)$$

## II.4.les différents type de cellule solaires et leur rendement

Il existe différent types des cellules solaires ou cellules photovoltaïques. Chaque type de cellule est caractérisé par a un rendement et un cout qui lui sont propres. Cependant, quel que soit le type, le rendement reste assez faible : entre 8 et 23 % de l'énergie que les cellules reçoivent. [8]

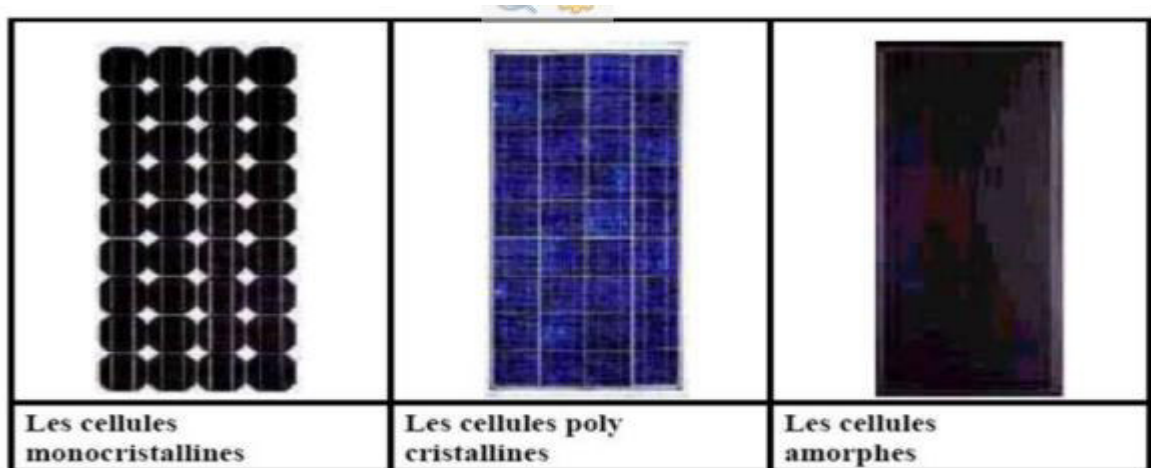


FIGURE II.4 : Les différents types de cellules solaires

### II.4.1. différant types des cellules solaires

différant types des cellules solaires

Type de cellules	Rendements des cellules (%)			Domaines d'application
	Théorique	en labo.	disponible	
Silicium monocristallin	27	24.7	14-16	modules de grandes dimensions pour toits et façades, appareils de faibles puissances, espace (satellites)
Silicium poly cristallin	27	19.8	12-14	modules de grandes dimensions pour toits et façades, générateurs de toutes tailles (reliés réseau ou sites isolés)
Silicium amorphe	25	13	6-8	appareils de faible puissance, production d'énergie embarquée (calculatrice, montre.) modules de grandes dimensions (intégration dans le bâtiment)
Arséniure de Gallium GaAs	29	27.5	18-20	systèmes de concentrateur, espace (satellites).
CIS	27.5	18.2	10-12	appareils de faibles puissances, modules de grandes dimensions (intégration dans le bâtiment)
Tellure de Gadmuim CdTe	28.5	16	9-11	modules de grandes dimensions (intégrations dans le bâtiment)

Tableau II.1: différant types des cellules solaires.

### II.4.2. Les avantages et inconvénients des cellules

Les avantages et inconvénients des cellules:

Type	Silicium mono cristallin	Silicium poly cristallin	Amorphe
Durée de vie	25 ans	25ans	> 10ans
Avantage	Bon rendement en soleil direct	Bon rendement en soleil direct (moins que le monocristallin mais plus que l'amorphe)	Souplesse prix moins élevé que le cristallin Bon rendement en diffus
Inconvénient	Mauvais rendement en soleil diffus (temps nuageux...), prix élevé	Mauvais rendement en soleil diffus (temps nuageux...), prix élevé	Mauvais rendement en plein soleil.

Tableau II.2 : Avantages et inconvénients des cellules photovoltaïques

## II.5 Association de cellules

Dans la condition standard STC, la puissance maximale pour une cellule au silicium de 10 cm<sup>2</sup> serait d'environ 1.25 W.

La cellule photovoltaïque élémentaire constitue donc un générateur électrique de très faible puissance insuffisant pour la plupart des applications domestiques ou industrielles. Les générateurs photovoltaïques sont, de ce fait, réalisés par association, en série et/ou en parallèle d'un grand nombre de cellules élémentaires. Ces groupements sont appelés modules, puis panneaux

- En fait, l'association de cellules PV est analogue à l'association de générateurs de courant : en série, leurs tensions s'ajoutent, en parallèle, leurs courants s'ajoutent.
- Les connexions en série de plusieurs cellules augmentent donc la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant pour une même tension. [9]

### II.5.1 Regroupement en série

Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série est obtenue par l'addition des tensions à un courant donné. Comme montre la Figure (II.5).élémentaires de chaque cellule. L'équation résume les caractéristique électriques d'une association série de (Ns) cellules, [10].

$$I_{cc} = I_{ccNs} \tag{9}$$

$$V_{ccNs} = N_s \cdot V_{co} \tag{10}$$

Avec :

$I_{ccNs}$  : la somme des courants de court-circuit de (Ns) cellule en parallèle

$V_{ccNs}$  : tension du circuit ouvert de (Ns) cellules en parallèle

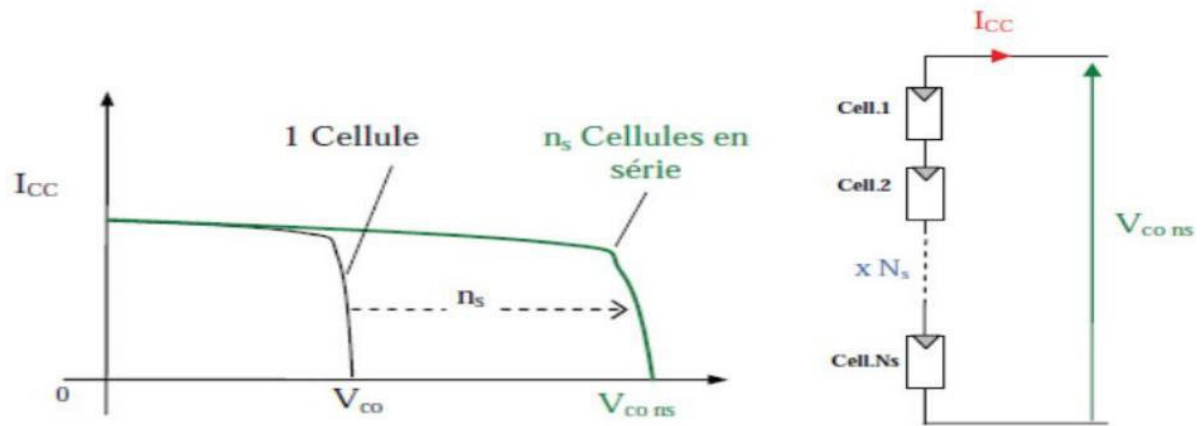


Figure II.5 : Caractéristique courant tension de Ns cellule en série.

### II.5.2 Regroupement en parallèle

Une association parallèle de (NP) cellule figure (II.4) 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

$$I_{cc_{Np}} = N_p \cdot I_{cc} \tag{11}$$

$$V_{co} = V_{co_{Np}} \tag{12}$$

Avec :

$I_{cc_{Np}}$  : la somme des courants de court-circuit de (NP) cellule en parallèle

$V_{co_{Np}}$  : tension du circuit ouvert de (Np) cellules en parallèle

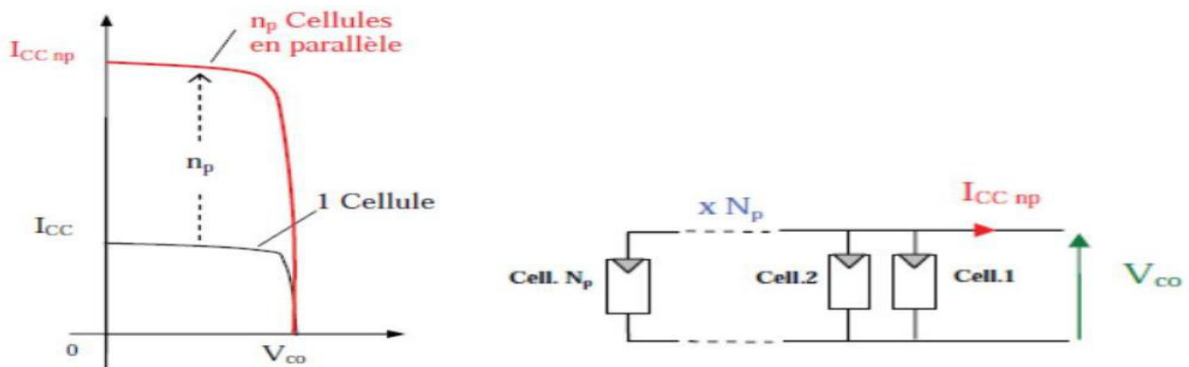


Figure II.6 : Caractéristique courant tension de Np cellule en parallèle.

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 à la figure(II.6), page suivant, ce qui peut être généralisé sur une gamme de  $N_s$  modules solaires en série. Ce genre de groupement augmente le courant

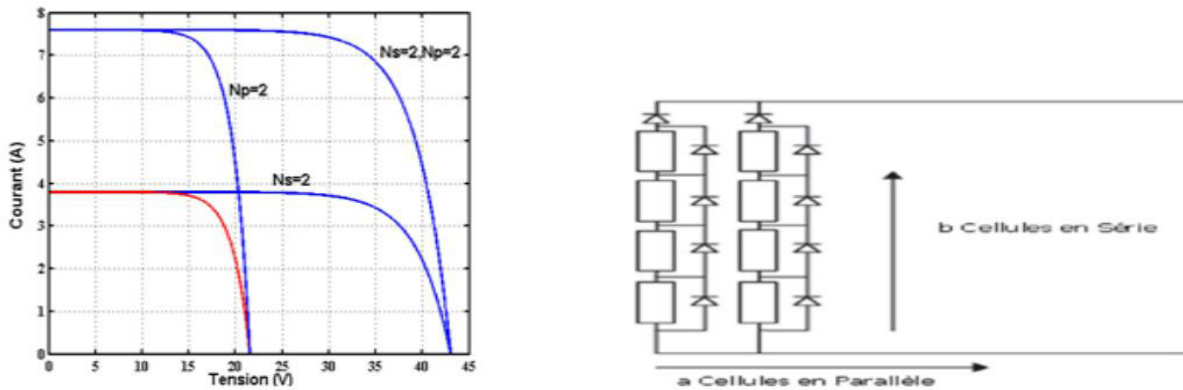


Figure II.7: Caractéristique courant tension des cellules solaires en série et parallèle.

## II.5 Caractéristique Courant-Tension

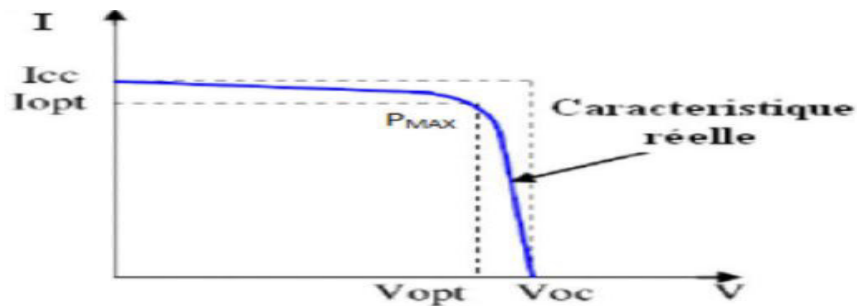


Figure II.8: Caractéristique courant-tension d'une cellule

$v_{oc}$  : La tension en circuit ouvert

Si l'on place une cellule Photovoltaïque sous une source lumineuse constante, sans aucun récepteur à ses bornes, celle-ci va produire une tension continue d'environ 0.6 V, appelée tension en circuit ouvert  $v_{oc}$  (elle varie légèrement avec la technologie et l'éclairement). Cette valeur correspond à la tension de coupure d'une diode, ce qui confirme le fait que l'on puisse assimiler une cellule solaire à une jonction P-N.

$i_{cc}$ : Le courant de court-circuit :



A l'inverse du cas précédent, si l'on place une cellule Photovoltaïque en court-circuit, elle va débiter un courant maximal à tension nulle. Ce courant est dit courant de court-circuit  $i_{cc}$ . Le photo-courant fourni par la cellule est proportionnel à l'intensité lumineuse et à la surface du panneau mis en œuvre. Ainsi, plus ces deux paramètres seront élevés, plus l'intensité produite sera grande.

### II.5.1 Point de fonctionnement optimal ( $v_{opt}$ , $i_{opt}$ )

Le but recherché par tout utilisateur de générateur photovoltaïque est que l'énergie produite soit la plus optimale possible. La figure (II.7) représente la caractéristique courant tension d'une cellule Photovoltaïque sous illumination. Pour l'éclairement considéré, le point  $P_{max}$  représente le point où la puissance de la photopile est maximale. Ce point, dite puissance maximale, est associé à une tension optimale  $v_{opt}$ , et à une intensité optimale  $i_{opt}$ . C'est cette puissance que par la suite sera toujours recherché par notre régulateur (MPPT). Par ailleurs, lorsqu'il est question de puissance maximale dans les conditions normalisées d'ensoleillement STC, on parle alors de puissance crête, mesurée en watts – crête (Wc), et donnée par l'équation :

$$P_{max} = V_{opt} \cdot I_{opt} \quad (13)$$

### II.5.2 Facteur de forme

Rapport entre la puissance optimale  $P_{max}$  et la puissance théorique que peut avoir la cellule :

$$FF = V_{oc} \cdot I_{cc} \quad (14)$$

### II.5.3 Le rendement

Le rendement énergétique est défini comme étant le rapport entre la puissance maximale produite et la puissance du rayonnement solaire parvenant au module. Soit S la surface du module et E l'éclairement en  $W/m^2$ , ce rendement a pour formule

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{E \cdot S} \quad (15)$$

Il est généralement évalué dans des conditions de référence : sous un ensoleillement de  $1\,000\,W/m^2$ , température de  $25\,^{\circ}C$  et sous un spectre AM 1.5.

Lorsque nous avons présenté le fonctionnement des cellules solaires, nous avons évoqué pour quelques-uns les matériaux qui les constituent.

On peut distinguer deux grandes familles de matériaux photovoltaïques utilisés dans des installations :

- les matériaux cristallisés, d'épaisseur de 0.15 à 0.4 mm,
- les couches minces, d'épaisseur faible d'ordre du micron.

Le matériau le plus répandu de nos jours est le silicium, semi-conducteur tétravalent. Le silicium est soit cristallin, soit amorphe :

Les modules en couches minces commencent à se développer pour leurs qualités physiques qui représentent de gros avantages par rapport au silicium

#### **II.5.4 Zone de fonctionnement du module solaire**

La caractéristique fondamentale du générateur photovoltaïque, pour un éclairement et une température donnée, n'impose ni le courant ni la tension de fonctionnement; seule la courbe I-V est fixée. C'est la valeur de la charge aux bornes du générateur qui va déterminer le point de fonctionnement du système photovoltaïque. La figure (II.8) représente trois zones essentielles:

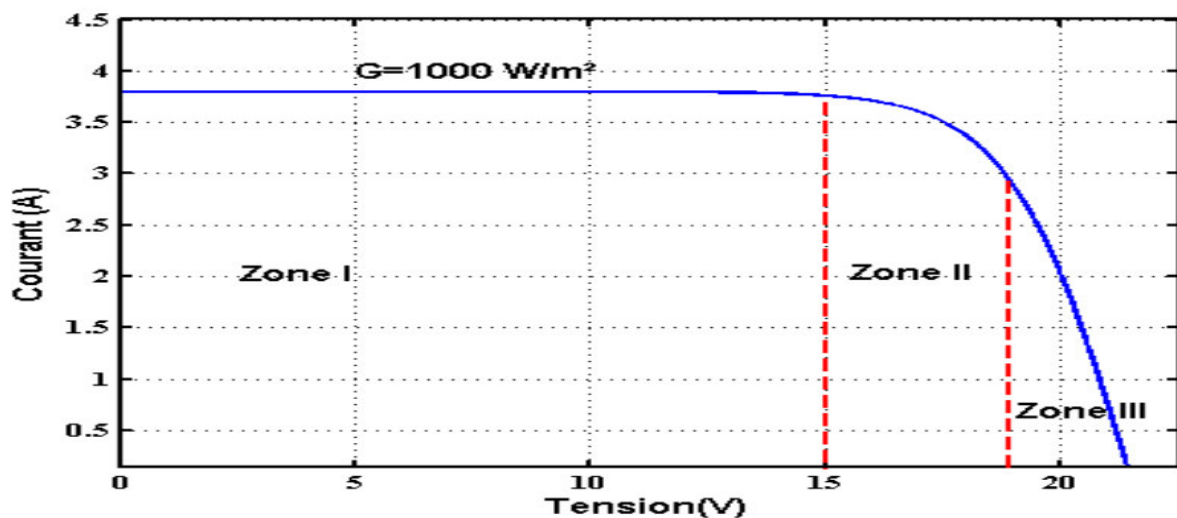


Figure II.9 : Différentes zones de la caractéristique  $I=f(V)$ ,  $T = 25^\circ\text{C}$ .

Zone 1 : le GPV est un générateur de courant (le courant est constant).

Zone 2 : c'est la zone de travail du GPV (puissance maximale).

Zone 3 : le GPV est un générateur de tension (la tension est presque constante).

### II.5.5 Influence de l'éclairement et la température sur les courbes $I=f(V)$ et $P=f(V)$

La figure (II.10): montre l'influence de l'éclairement sur la caractéristique  $I=f(V)$ . A une température constante, on constate que le courant subit une variation importante, mais par contre la tension varie légèrement. Car le courant de court-circuit est une fonction linéaire de l'éclairement alors que la tension de circuit ouvert est une fonction logarithmique

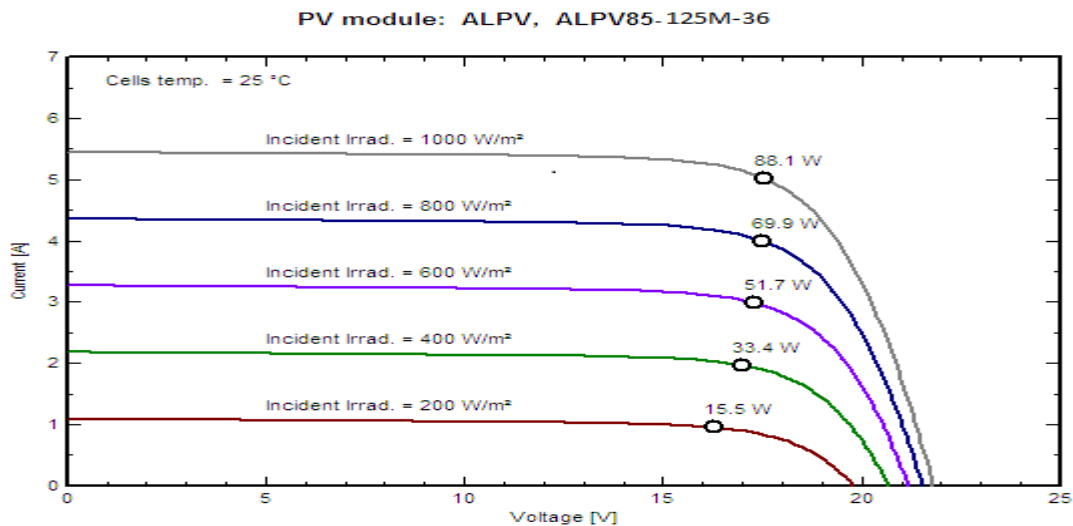


Figure II.10 : l'influence de l'éclairement sur la caractéristique  $I=f(V)$ .

La figure (II.11), illustre la variation de la puissance délivrée par le générateur en fonction de la tension pour différentes valeurs d'éclairement, ce qui nous permet de déduire l'influence de l'éclairement sur la caractéristique  $P(V)$ .

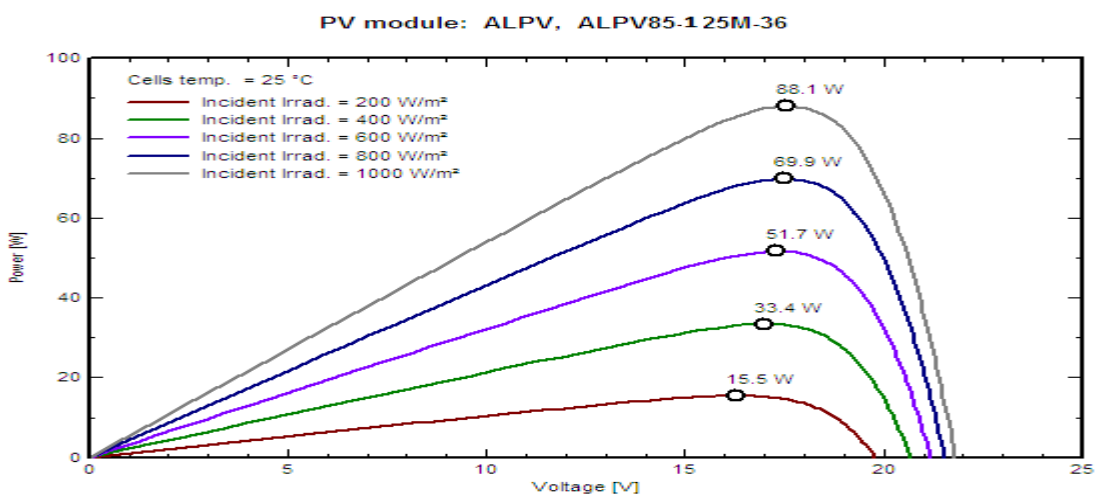


Figure II.11 : L'influence de l'éclairement sur la caractéristique  $P=f(V)$ .

La figure (II.12), montre l'influence de la température sur la caractéristique  $I=f(V)$ . Il est essentiel de comprendre l'effet de changement de la température d'une cellule solaire sur la caractéristique  $I=f(V)$ . Le courant dépend de la température puisque le courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, mais la température influe négativement sur la tension de circuit ouvert. Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Par conséquent la puissance maximale du générateur subit une diminution.

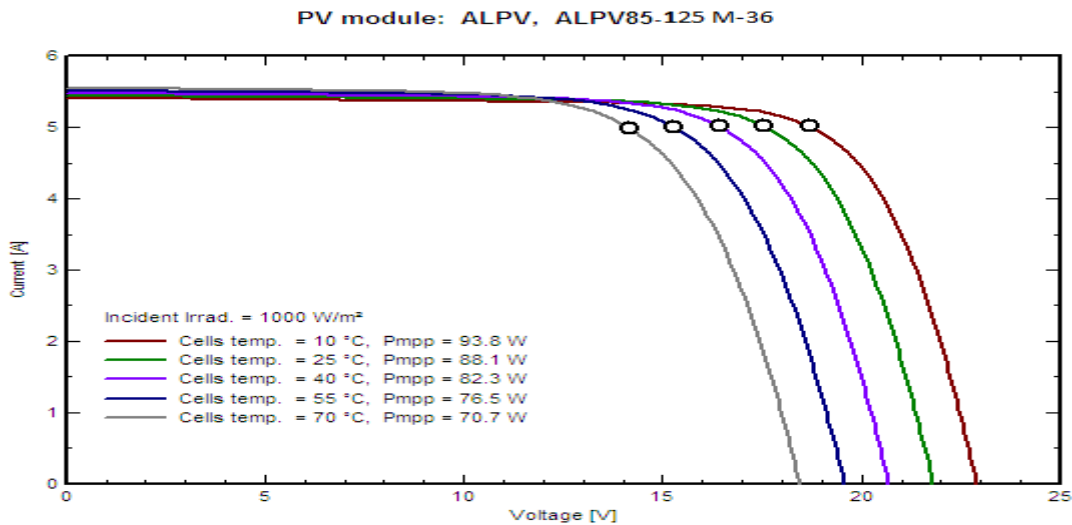


Figure II.12: L'influence de la température sur la caractéristique  $I=f(V)$ .

La figure (II.13),représente la variation de la puissance délivrée par le générateur en fonction de la tension pour différentes valeurs de la température, ce qui nous permet de déduire l'influence de la température sur la caractéristique  $P=f(V)$

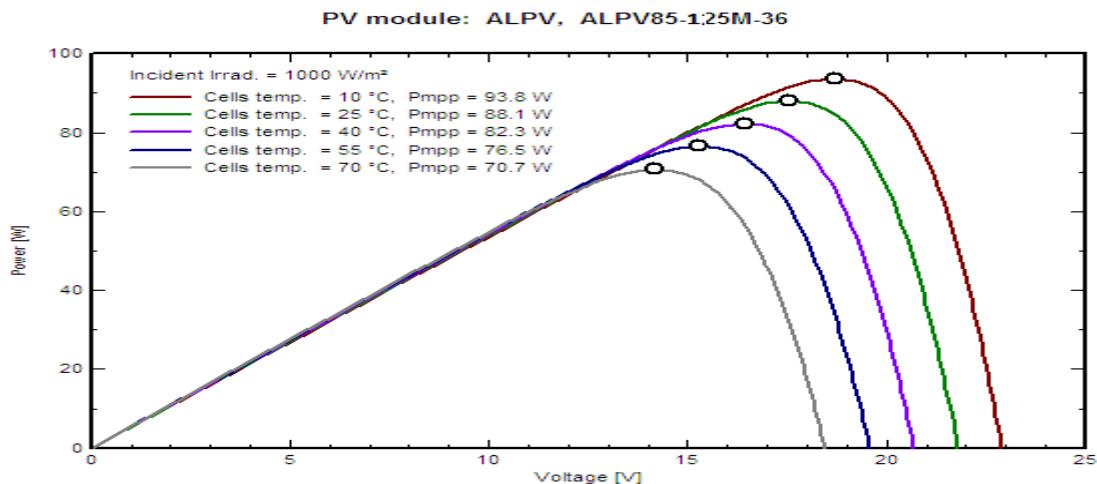


Figure II.13 :L'influence de la température sur la caractéristique  $P=f(V)$ .

## II.6 Composants de panneau photovoltaïque

Un panneau photovoltaïque est globalement constitué de 6 composants

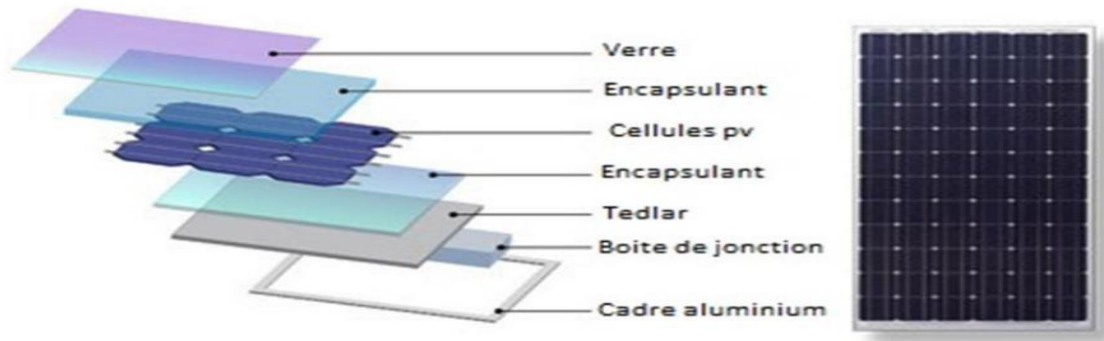


Figure II.13: Module photovoltaïque

Du verre trempé en face avant à haute transmission

- De film fin d'EVA (Ethylène-acétate de vinyle) qui permet de coller et protéger les cellules photovoltaïque de l'eau et la poussière
- Les cellules photovoltaïques qui vont convertir la lumière en électricité
- Le TPT (Tedlar-Polyester-Tedlar) en face arrière
- La boite de jonction permettant le raccord simple et efficace des panneaux photovoltaïque et la protection électrique des panneaux.
- Le cadre en aluminium anodisé pour le maintien et la pose des panneaux

## II.7 Le champ photovoltaïque

Le module photovoltaïque est par définition un ensemble de photopiles assemblé pour générer une puissance électrique exploitable. En effet, une photopile élémentaire ne génère pas suffisamment de tension (entre 0.5 et 1.5 V selon les technologies). Un module photovoltaïque se compose généralement d'un circuit de 36 cellules en série. Ces cellules sont protégées de l'humidité par encapsulation dans un polymère EVA (éthylène-vinyle-acétate) et protégé sur la surface avant d'un verre trempé à haute transmission et d'une bonne résistance mécanique, et sur la surface arrière d'un polyéthylène.

Afin d'obtenir des puissances de quelques kilowatts à quelques mégawatts, sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en série et en parallèle pour former un panneau ou un champ photovoltaïque

## **II.8 Système de conversion**

Un convertisseur d'énergie est un équipement que l'on dispose généralement soit entre le champ photovoltaïque et la charge (sans stockage avec charge en continu, il portera le nom de convertisseur continu continu), soit entre la batterie et la charge (il sera alors appelé onduleur ou convertisseur continu alternatif).

### **II.8.1 Convertisseur continu- continu**

Ce type de convertisseur est destiné à adapter à chaque instant l'impédance apparente de la charge à l'impédance du champ photovoltaïque correspondant au point de puissance maximale. Ce système d'adaptation est couramment appelé MPPT (Maximum Power Point Tracking). Son rendement se situe entre 90 et 95 %.

### **II.8.2 Convertisseur continu-alternatif (onduleur)**

C'est un dispositif destiné à convertir le courant continu en courant alternatif. La forte évolution de ce type de convertisseur s'est appuyée d'une part sur le développement de composants à semi-conducteurs entièrement commandés, robustes et rapides, et, d'autre part, sur l'utilisation quasi généralisée des techniques dites de « Modulation de Largeur d'Impulsion » (MLI). Ces dernières s'appuient sur les performances en matière de fréquence de découpage des semi-conducteurs.

## **II.9 Stockage de l'énergie**

### **II.9.1 Les batterie**

La batterie sert à stocker l'énergie produite par le champ de modules photovoltaïques. Il y a nécessité de stockage chaque fois que la demande énergétique est décalée. Dans le temps vis-à-vis de l'apport énergétique solaire. En effet, la demande énergétique est une fonction de la charge à alimenter et les appareils utilisés. L'apport énergétique solaire est périodique (alternance jour/nuit). Ce décalage entre la demande et l'apport énergétique nécessite un stockage d'électricité.

Le système tampon utilisé le plus couramment pour les systèmes photovoltaïques est les batteries d'accumulateurs électrochimiques. Dans un système photovoltaïque, la batterie remplit trois fonctions importantes :

**Autonomie :** Une batterie permet de répondre aux besoins de la charge en tout temps, même la nuit ou par temps nuageux.

**Courant de surcharge :** Une batterie permet de fournir un courant de surcharge pendant quelques instants, c'est-à-dire un courant plus élevé que celui que peut fournir le champ photovoltaïque. Ceci est nécessaire pour faire démarrer les moteurs et les autres appareils requérant un courant de démarrage de 3 à 5 fois supérieur au courant d'utilisation.

**Stabilisation de la tension :** Une batterie permet de fournir une tension constante, en éliminant les écarts de tension du champ photovoltaïque et en permettant aux appareils un fonctionnement à une tension optimisée.

### II.10 Système de régulation

Les systèmes de régulation de charge sont des éléments d'un système photovoltaïque qui ont pour but de contrôler la charge et la décharge d'une batterie afin d'en maximiser la durée de vie. Son rôle principal est de réduire le courant lorsque la batterie est presque entièrement chargée. Lorsqu'une batterie se rapproche d'un état de charge complète, de petites bulles commencent à se former sur les électrodes positives. A partir de ce moment, il vaut mieux réduire le courant de charge non seulement pour éviter des dégâts mais aussi afin de mieux atteindre l'état de charge complète. Un courant trop élevé peut provoquer une déformation des électrodes à l'intérieur, ce qui pourrait créer un court-circuit.

Le régulateur de charge assure deux fonctions principales :

- la protection des batteries contre les surcharges et les décharges profondes.
- L'optimisation du transfert d'énergie du champ PV à l'utilisation.

La tension aux bornes de la batterie est l'indication sur la quelle s'appliquera le régulateur pour assurer sa fonction. Le régulateur mesure en permanence cette tension et la compare à deux seuils de tension préétablis :

seuil haut et seuil bas. Il existe plusieurs types de régulateurs :

### II.10.1 Régulation de décharge

La régulation de décharge s'effectue par un comparateur qui compare la tension de la batterie à un seuil de tension préréglé bas et transmet l'information à un circuit de commande. Ce dernier arrête de décharge lorsque la tension par élément dépasse la tension de seuil.

### II.10.2 Régulation de la charge

La régulation de la charge effectue par une réduction de courant lorsque la batterie est chargée, on évite la charge lorsque la tension par élément dépasse la tension de surcharge. Il existe plusieurs types de montage de régulation de charge pour les batteries au plomb.

### II.10.3 Régulations de charge série

Le principe consiste à intercaler entre le panneau PV et la batterie un dispositif qui module le courant. Le dispositif fonctionne de la manière suivante : Tant que la tension  $U_b$  aux bornes de la batterie est inférieure à la tension de la diode Zener  $U_z$ , le courant délivré par le panneau charge la batterie à travers un transistor se bloque, et le courant ne passe qu'à travers la résistance

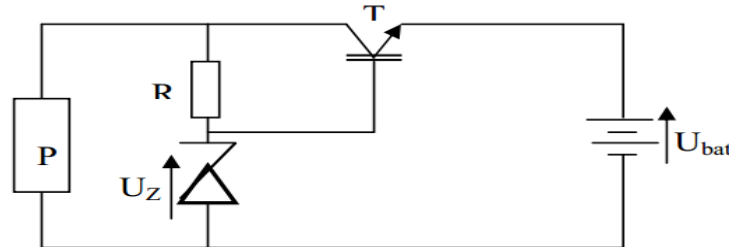


Figure (II.14): Schéma de principe d'un régulateur de charge série [11].

### II.10.4 Régulateur de charge de coupure

Ce régulateur comporte un relais qui connecte et déconnecte le générateur PV à deux seuils différents et qui sont commandés par une unité de contrôle. Ils mesurent en permanence la tension aux bornes de la batterie.

### II.10.5 Régulateur de charge à découpage

Ce type de régulateur utilise un convertisseur continu - continu qui délivre à la batterie sa tension de floatant chaque fois que la tension de la batterie atteint le seuil haut.



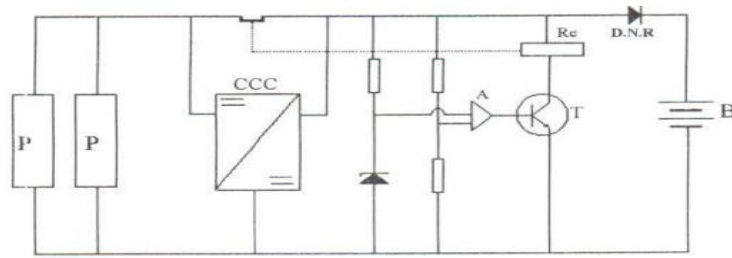


Figure II.15:Schéma de principe d'un régulateur de charge à découpage[11]

**II.10.6 Régulateur de charge série à coupure partielle**

Ce type de régulateur permet de fractionner le panneau PV en deux parties. Chacune délivrer une même tension selon le principe suivant: une partie du panneau charge la batterie à travers un régulateur de charge série à coupure tant que l'autre partie est branchée directement pour la charge de la batterie en permanence.

**II.10.7 Régulateur de charge parallèle**

Ce type de régulateur est utilisé en dérivation sur le panneau solaire. Il permet de dissiper l'énergie excédentaire sous forme calorifique grâce à des composants de puissances selon le principe suivant:

Lorsque la tension de la batterie est faible, le transistor T est bloqué, le courant et la tension aux bornes de la résistance est faible alors tout le courant délivré par le générateur charge la batterie. Si la tension aux bornes de la diode Zener atteint la valeur de référence, le courant I augmente brusquement, le transistor T devient passant et il délivre une partie du courant de charge.

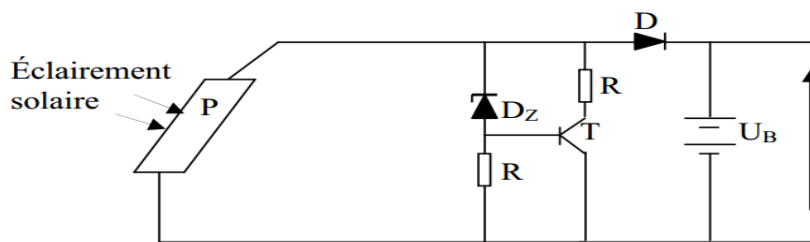


Figure II.16:Schéma de principe d'un régulateur de charge parallèle]. [11]

Un onduleur est un dispositif permettant de transformer en alternatif une énergie électrique de type continue. Ils sont utilisés en électrotechnique pour : - Soit fournir des tensions ou courants alternatifs de fréquence et amplitudes variables. Ex : C'est le cas des onduleurs servant à alimenter des moteurs à courant alternatif devant tourner à vitesse variable par

exemple (la vitesse est liée à la fréquence des courants qui traversent la machine). - Soit fournir une ou des tensions alternatives de fréquence et d'amplitude fixes. Ex : C'est le cas en particulier des alimentations de sécurité destinées à se substituer au réseau en cas de défaillance de celui-ci par exemple. L'énergie stockée dans les batteries de secours est restituée sous forme continue, l'onduleur est alors nécessaire pour recréer la forme de tension et fréquence du réseau

### **II.11 Câblage électrique**

Ils seront à l'extérieur, exposés au vent, au gel, au soleil et autres agressions. Il est strictement nécessaire d'utiliser des câbles adaptés à des sections (diamètre) suffisantes [12].

Nous allons d'abord effectuer un branchement par un câble électrique qui sera un câble de qualité par exemple, il devra subir les agressions du vent, de la pluie, du soleil, du gel

#### **II.11.1 Câblage de liaison**

Il se trouve entre les modules et le régulateur, il doit être d'une section d'au moins 2,5mm<sup>2</sup> ou plus si la longueur excède 15cm. Pour une intensité inférieure à 4A, sa section sera calculée de façon à ne pas avoir plus de 6% de chute de tension.

### **II.12 protection classiques d'un GPV**

Lorsque nous concevons une installation photovoltaïque, nous devons assurer la protection électrique de cette installation afin d'augmenter sa durée de vie en évitant notamment des pannes destructrices liées à l'association des cellules et de leur fonctionnement en cas d'ombrage. Pour cela, deux types de protection sont classiquement utilisés dans les installations actuelles :

- la protection en cas de connexion en parallèle de modules PV pour éviter les courants négatifs dans les GPV (diode anti-retour)

- la protection lors de la mise en série de modules PV permettant de ne pas perdre la totalité de la chaîne (diode by-pass) et éviter les points chauds.

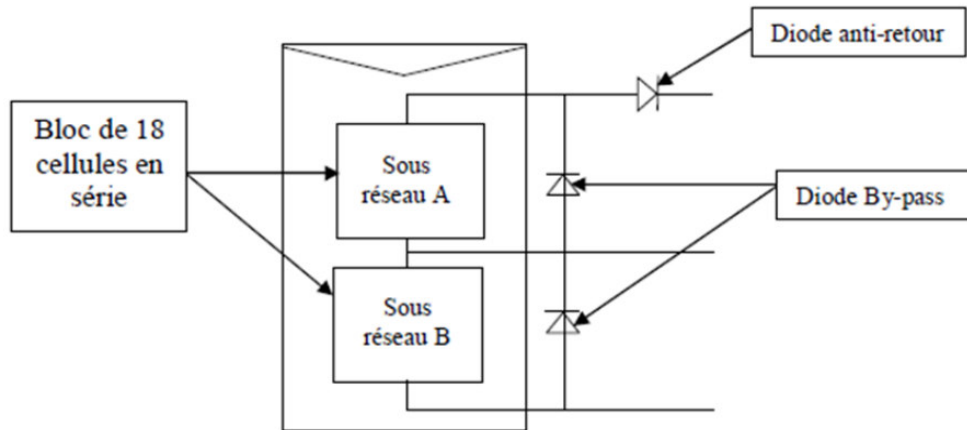


Figure II.17 : Schématisation d'un GPV élémentaire avec diode by-pass et diode anti-retour

## II.13 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque

Tout système de production d'énergie photovoltaïque a ses avantages et ses inconvénients .

### II.13.1 Avantage[15]

d'abord, une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.

-ensuite, le caractère modulaire des panneaux photovoltaïque permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au mégawatt.

-le cout de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.

-La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est pas l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions

-Ils fonctionnent de façon rentable dans les régions éloignées et dans de nombreuses applications résidentielles et commerciales.

-Temps de réalisation d'une centrale PV minimum.

### **II.10.2 Inconvénients[15]**

La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.

- le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15%, avec une limite théorique pour une cellule de 28%.
- Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport au générateur diesel que pour les faibles demandes d'énergie en régions isolées
- Tributaire des conditions météorologiques.
- Beaucoup d'appareils vendus dans le marché fonctionnent au 220 à 230V alternatif. Or, l'énergie issue du générateur PV est unidirectionnelle et de faible voltage (< 30V), elle doit donc être transformée par l'intermédiaire d'un onduleur.

### **Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons rappelé quelques notions sur le rayonnement solaire, et présenté, principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule photovoltaïque, ainsi les différentes cellules photovoltaïques, ce fonction de l'éclairement et la température. Et en fin l'avantage et l'inconvénient de énergie photovoltaïque

### III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les étapes à suivre pour étudier un système photovoltaïque autonome, et choisir les différents éléments à savoir : les modules du générateur photovoltaïque, le parc des batteries de stockage, le régulateur, l'onduleur pour les charges à courant alternatifs

### III.2.Champs photovoltaïque

Comme cette station est à puissance réduite, on l'appelle «microcentrale ». Cette microcentrale est formée de 40 modules solaires ALPV85-125M-36 dont les caractéristiques sont données dans le tableau 01. L'ensemble des modules photovoltaïque sont montés en série-parallel pour s'adapter aux exigences imposées par le convertisseur DC/AC auquel est connecté cette source. Ainsi, ils sont montés en 10 panneaux solaires de 4 modules chacun. Ces panneaux sont montés à leur tour en deux branches parallèles dont chacune comporte 5 panneaux en série, (Figure III.1). [13]

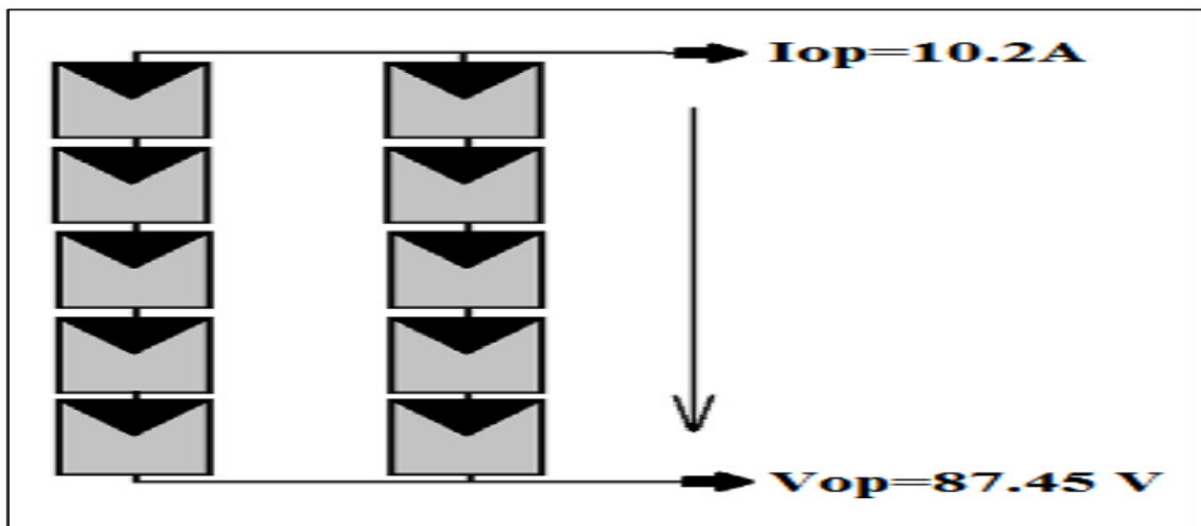
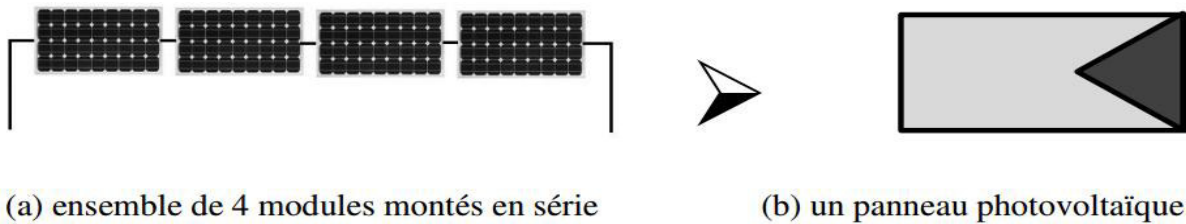


Figure (III.1): Champ photovoltaïque

### III.3. La Gamme des modules solaires utilisés

ALPV fabrique des modules de technologie et puissances variées. Ses modules solaires à base de cellules poly cristallines ou monocristallines vont du 80 Wc au **280 Wc** suivant la demande. Les modules fabriqués à partir de composants de grande qualité sont parfaitement fiables et garantissent la rentabilité du capital investi. Durant le cycle de fabrication, les modules solaires subissent un contrôle de qualité rigoureux garantissant l'acquisition d'un produit. Les modules PV peuvent être utilisés aussi bien en systèmes connectés au réseau qu'en systèmes autonomes.

-La durée de vie jusqu'à 25 ans.

-Ne nécessitant aucune maintenance.

-Résistance aux conditions météorologiques variées.

La tolérance positive des modules (0/+5w), garantie la réception d'une puissance correspondant au montant investi, voire supérieur. Les modules utilisés dans notre installation sont de type monocristallin.

-Classification de puissance (de 0 à +5 Wc)

- La vitre avant en verre trempé de 3,2 mm.

- Boîtier de connexion : **TYCO** électroniques

-Garantie produit 5 ans contre tout défaut de matériel.

-Garantie sur la puissance nominale:25 ans (80%) et 10 ans (90%).

**Tableau III-1** : Caractéristique des modules ALPV85-125M-36. Sous les conditions de test standards (STC) 1000w/m<sup>2</sup> ; 25°; AM 1,5.

<b>Fabricant</b>	<b>ALPV</b>
<b>Modèle</b>	<b>ALPV85-125M-36</b>
<b>Type de cellules</b>	<b>Monocristallin, 152x125 mm</b>
<b>Nombre de cellules</b>	<b>36 cellules</b>
<b>Puissance maximale (Pmax)</b>	<b>85 W</b>
<b>Tension en circuit ouvert (Voc)</b>	<b>22.21 V</b>
<b>Courant de court-circuit (Isc)</b>	<b>5.45 A</b>
<b>Tension à Pmax (Vmp)</b>	<b>17.49 V</b>
<b>Courant à Pmax (Imp)</b>	<b>5.06 V</b>
<b>Tension maximale du système</b>	<b>700V</b>
<b>Dimensions</b>	<b>1225x545x35</b>
<b>Poids</b>	<b>8.5 Kg</b>
<b>Rendement(%)</b>	<b>13.65</b>

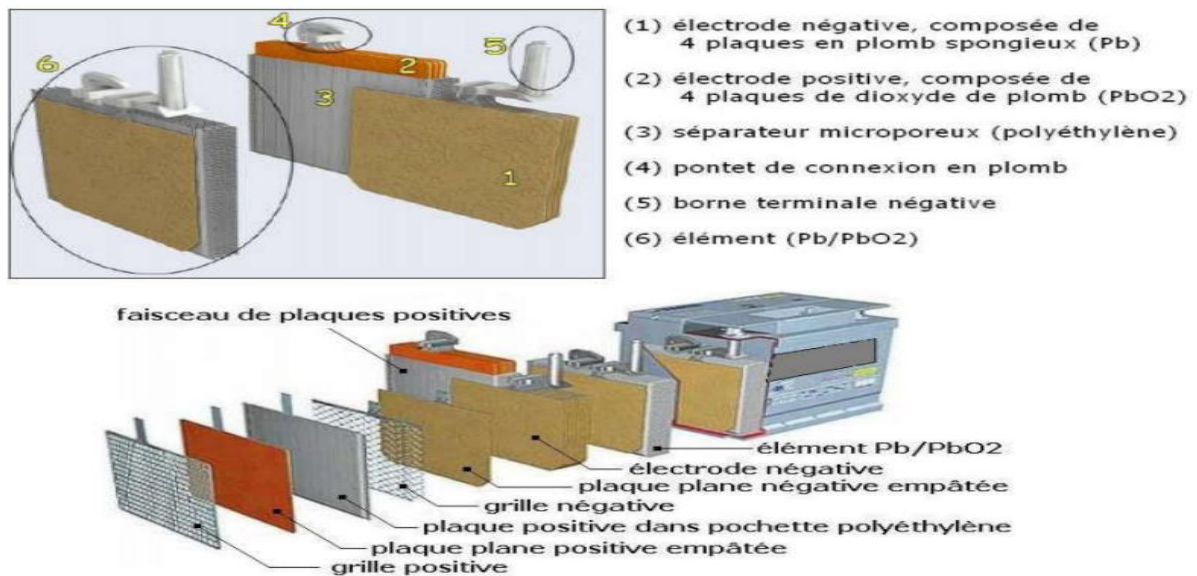
**Tableau (III.1):** Caractéristique des modules ALPV85-25M-36

### III.4.Batteries acide-plomb

#### III.4.1 Composition d'une batterie

Une batterie acide-au-plomb est une source d'énergie électrique. Cette dernière est obtenue par transformation directe d'une énergie chimique en une énergie électrique. Rechargeable, il s'agit historiquement du premier dispositif de ce type qui a été développé et commercialisé. Chaque batterie acide-plomb est habituellement constituée de plusieurs cellules dont la tension cellulaire qui dépend de l'état de charge est de l'ordre de 2 V. Les cellules sont associées en série et permettent ainsi d'atteindre des tensions nominales de 6, 12, 24 V et au-delà. Chaque cellule est composée d'un couple d'électrodes positive et négative isolées par un séparateur microporeux, destiné à éviter les courts circuits tout en laissant circuler les ions. Les électrodes positives sont à base de peroxyde de plomb (PbO<sub>2</sub>),

les électrodes négatives sont à base de plomb métal (Pb) et l'électrolyte est une solution aqueuse d'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ).

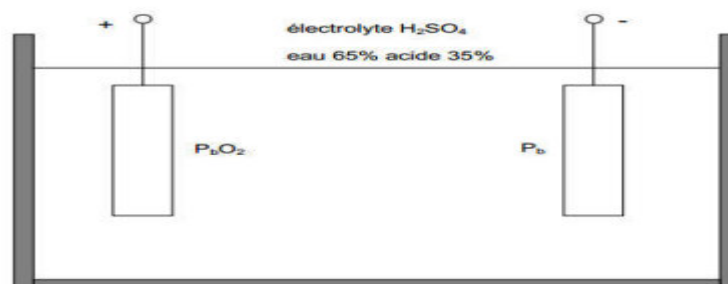


Figure(III.2): Constitution d'une batterie acide -plomb

Les batteries contiennent en poids environ 60 % de plomb, de 10 à 30 % d'électrolyte, de 5 à 10 % de matériaux pour la caisse (polypropylène par exemple) et de 20 à 40 % d'autres matériaux (silicone pour les batteries à électrolyte gélifié, séparateurs des électrodes, etc.). Ces proportions sont variables en fonction des fabricants et des technologies. La concentration de l'électrolyte en acide sulfurique au repos varie entre 30 % et 40 % en fonction de la technologie de la batterie.

### III.4.2 Fonctionnement d'une batterie acide- plomb

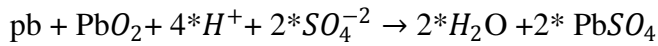
Le fonctionnement de la batterie acide -plomb réside dans le couplage de deux électrodes : une positive ( $PbO_2$ ) et une négative (Pb) qui sont immergées dans une solution d'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ).



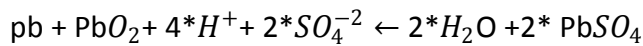
Figure(III.3):: Accumulateur acide-au-plomb chargé



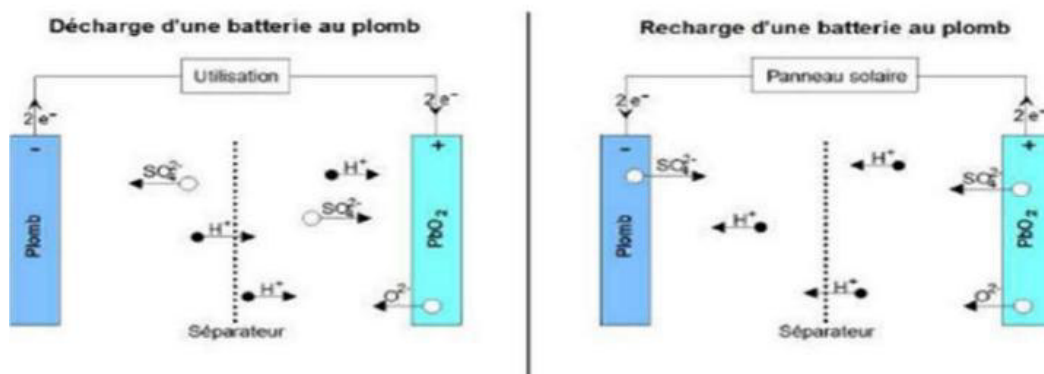
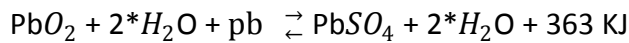
Les réactions chimiques de charge et de décharge sont des réactions d'oxydoréduction entre l'électrode négative, l'électrode positive et l'électrolyte. La décharge de la batterie acide-au-plomb consomme les solides des électrodes (Pb et PbO<sub>2</sub>) et les ions H<sup>+</sup> de l'électrolyte et conduit à la formation de sulfate de plomb (PbSO<sub>4</sub>) sur les électrodes :



A l'inverse, la charge de l'accumulateur au plomb forme les solides des électrodes et les ions H<sup>+</sup> de l'électrolyte (la concentration en acide augmente, le pH diminue), et le sulfate de plomb PbSO<sub>4</sub> disparaît des électrodes :



Les réactions électrochimiques aux électrodes se résument comme suit :

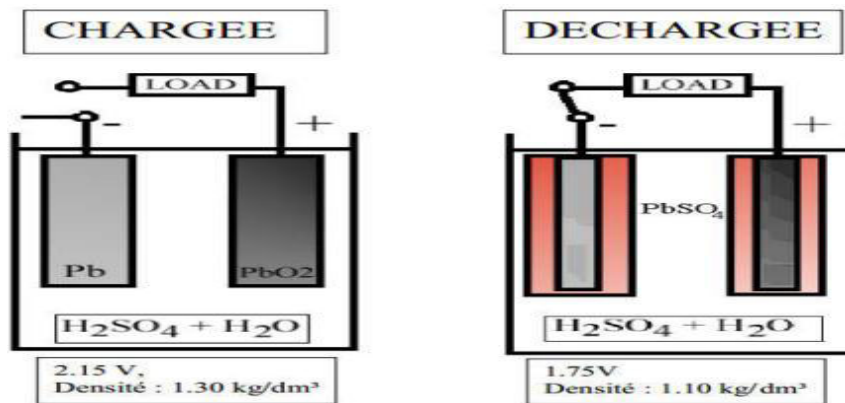


Figure(III.4):: Principe de fonctionnement de l'accumulateur acide -plomb

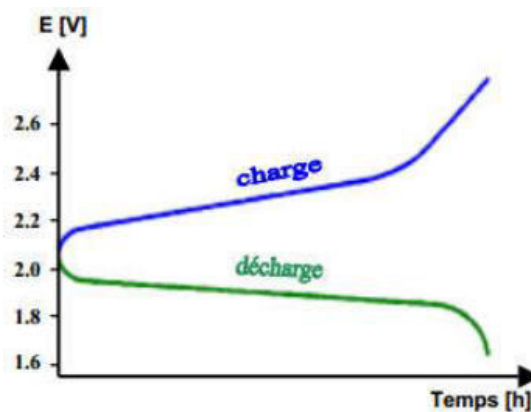
De plus, à la fin de la charge, le courant de charge déclenche l'électrolyse de l'eau contenue dans l'électrolyte, produisant un dégagement d'hydrogène à l'électrode négative et d'oxygène à l'électrode positive. Les batteries acide-au-plomb peuvent soit être « ouvertes », les gaz peuvent alors s'échapper par les orifices prévus et il est nécessaire d'ajuster régulièrement le niveau d'eau (excepté pour les batteries dites « sans entretien »), soit « a recombinaison de gaz » (en anglais VRLA pour « Valve-Regulated Lead-Acid battery ») avec un électrolyte sous forme de gel (dit gélifié) ou absorbe dans une matière fibreuse (dit absorbe) qui ne nécessite ainsi pas d'ajustement du niveau d'eau.

### III.4.2.a Cycle de charge de la batterie

Pendant la charge, le sulfate de plomb  $PbSO_4$  formé au niveau des deux électrodes se convertit au  $PbO_2$  au niveau de l'électrode positive et au  $Pb$  au niveau de l'électrode négative, et les ions de sulfate se retournent dans la solution pour former l'acide sulfurique. Pendant cette phase, la concentration de l'acide augmente et la tension de la batterie croît également avec le temps, quand elle atteint une tension suffisamment élevée, « tension de gazéification », l'électrolyse de l'eau contenue dans la batterie devient trop rapide et un dégagement gazeux (oxygène et hydrogène) aura lieu à l'intérieur de la batterie. En fin de charge, la tension de la batterie augmente rapidement, donc on doit limiter le courant de charge pour maintenir la tension de la batterie à une tension inférieure à la tension de gazéification. Si on trace en fonction du temps la différence de potentiel entre les deux bornes de la batterie, on constate qu'après un court régime transitoire elle s'établit aux environs de 2.2 V. En fin de charge (le point 2.4 V/élément), on remarque un accroissement rapide de la tension.



Figure(III.5): Charge et décharge d'un accumulateur



Figure(III.6): Courbe de charge et décharge d'une batterie acide -plomb

### III.4.2.b Cycle de décharge de la batterie

Quand la batterie se décharge, les matériaux actifs : le dioxyde de plomb au niveau de l'électrode positive et le plomb spongieux au niveau de l'électrode négative réagit avec l'acide sulfurique pour former le sulfate de plomb  $PbSO_4$  et de l'eau  $H_2O$ . Pendant cette phase, la concentration de l'acide décroît et la tension de la batterie décroît également avec le temps ; si elle dépasse une certaine valeur définie par les constructeurs, ceci peut attaquer les plaques (formation du sulfate de plomb  $PbSO_4$ ), qui ne sont plus détruites par la suite ; ce phénomène aura comme conséquences la sulfatation de l'accumulateur qui entraîne une perte de capacité, et un vieillissement de la batterie. Pendant la décharge, la tension de la batterie varie en fonction du temps (Figure III.5), on remarque que pendant une assez longue période d'utilisation, elle reste constante à une valeur proche de 2 V/élément. À partir du point 1.8 V/élément, elle diminue brusquement ; d'où, il faut interrompre la décharge de la batterie pour éviter la sulfatation.

### III.5 Régulateur de charge des batteries acide -plomb

Le régulateur de charge est un élément essentiel dans l'installation photovoltaïque, dont son prix et sa consommation électrique restent faibles relativement aux autres éléments. C'est l'élément central du système photovoltaïque, il protège la batterie pour qu'elle ait une durée de vie meilleure, ce qui est important, car cette dernière est très inférieure à celle des panneaux solaires. La batterie doit être protégée contre les surcharges et les décharges excessives qui peuvent causer une perte d'électrolyte et endommager ses plaques. Ceci est le rôle du régulateur de charge qui maintient la tension de la batterie entre deux seuils et permet ainsi une plus longue durée de vie du système photovoltaïque.

Ce régulateur est caractérisé par un courant maximum de charge (panneaux solaires), un courant maximum de décharge (équipements consommateurs) et par la tension nominale de fonctionnement. La figure (III.7) illustre ce principe de fonctionnement.

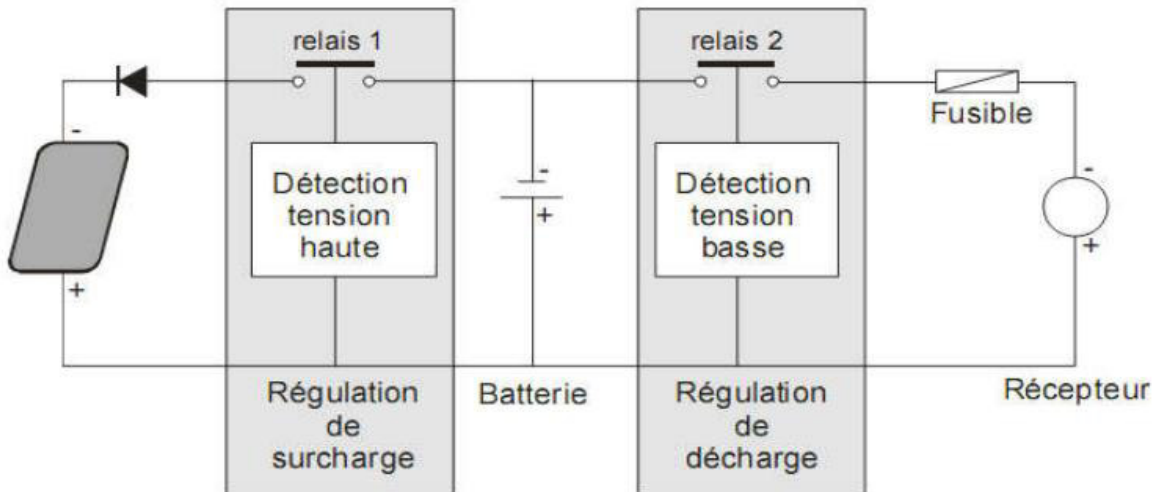


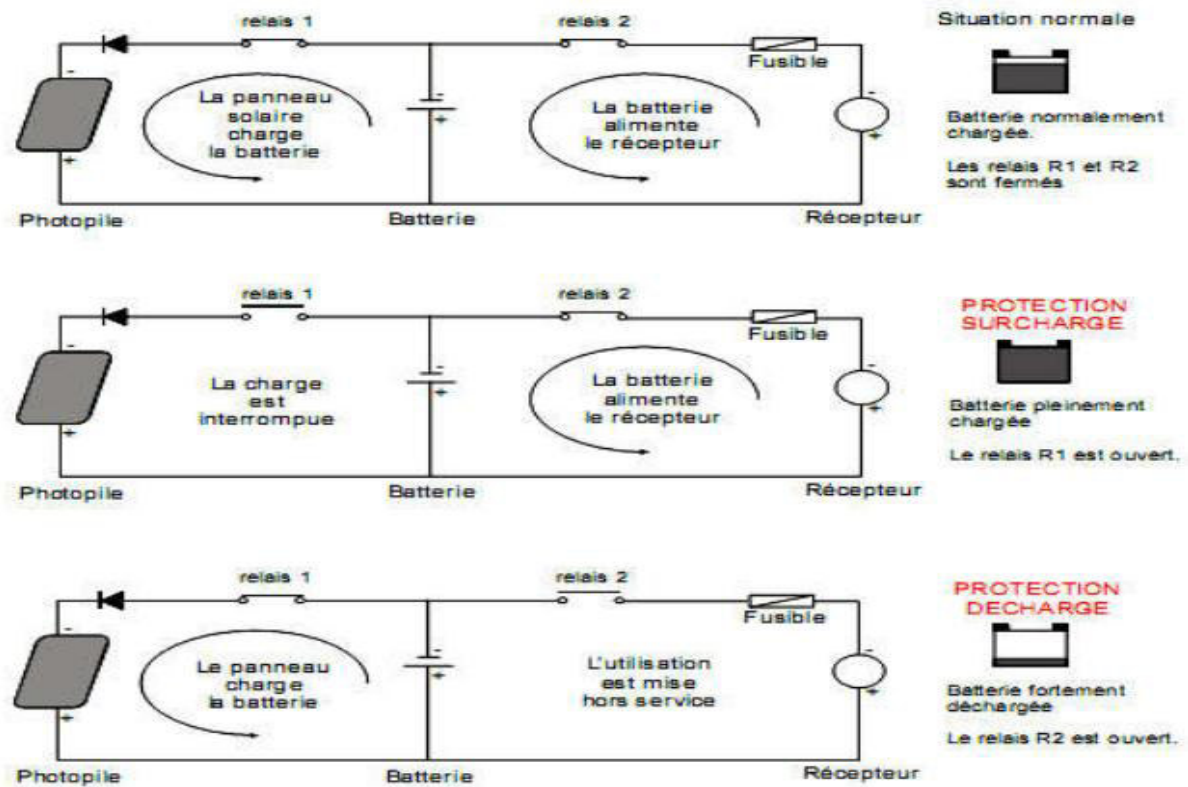
Figure III.7: Schéma fonctionnel d'un régulateur de charge

Le régulateur de charge assure deux fonctions principales :

- la protection des batteries contre les surcharges et les décharges profondes,

- l'optimisation du transfert d'énergie du champ photovoltaïque à l'utilisation. La tension aux bornes de la batterie est l'indication sur laquelle s'appuiera le régulateur pour assurer sa fonction. Ce dernier mesure en permanence cette tension et la compare à deux seuils de tension pré-régler : seuil haut et seuil bas. Si la batterie est chargée aux maximum 13.8 V pour une tension nominale de 12 V par exemple, le régulateur met les modules hors circuit afin de ne pas détériorer la batterie en la surchargeant. Lorsque la tension retombe en dessous du seuil 13.8 V, le régulateur reconnecte automatiquement les panneaux solaires pour recharger la batterie. Pour ne pas décharger la batterie très profondément, le régulateur interrompt la consommation à 11.4 V pour éviter la sulfatation des plaques. La consommation sera réenclenchée lorsque la recharge de la batterie atteint 12.6 V, pour ne pas démarrer avec une batterie trop peu chargée.

Afin de paramétrer le régulateur de charge, il est nécessaire d'utiliser deux valeurs caractéristiques de la batterie : la tension de fin de charge VFC, et la tension de recharge VRE pour laquelle le processus de charge recommence. La plupart des régulateurs travaillent en tout ou rien et utilisent ces deux tensions pour arrêter ou recommencer la charge.



Figure(III.8): Principes de fonctionnements du régulateur de charge

### III.5.1 Description du TriStar

Le Tristar est un régulateur de système d'énergie solaire mettant en œuvre des techniques de pointe. Trois modes de fonctionnement distincts sont programmés dans chaque TriStar : charge solaire de la batterie, contrôle de l'appel de puissance ou contrôle de la dérivation. Un seul mode de fonctionnement peut être sélectionné pour un TriStar donné. Lorsqu'un système nécessite un régulateur de charge et un régulateur d'appel de puissance, on doit utiliser deux TriStars. Le de branchement du régulateur Tristar est donné la figure (III.9)



Figure(III.9) régulateur TS 60

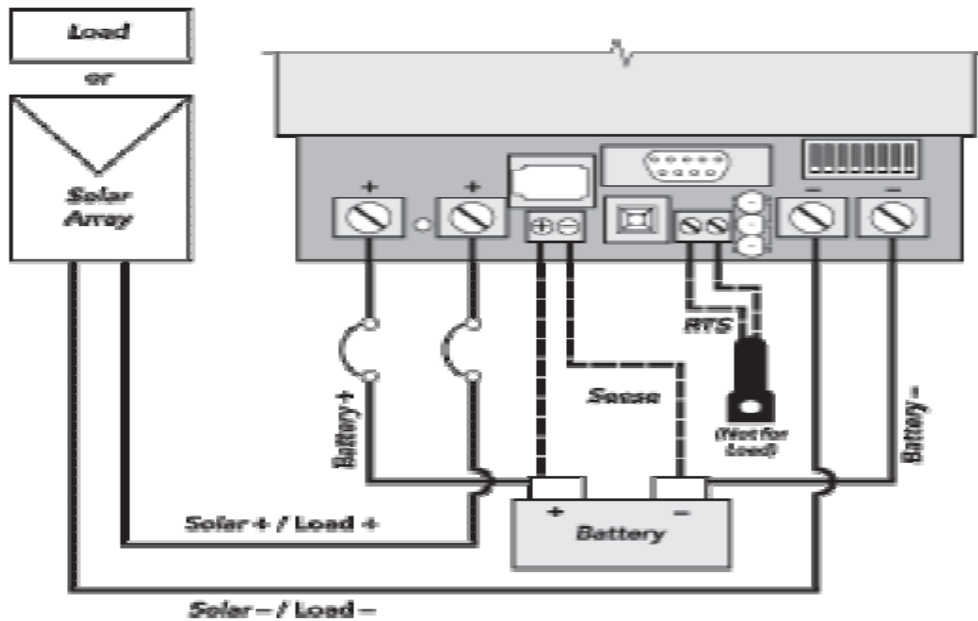


Figure III.10 branchement du régulateur TS 60

La programmation de régulateur ce fait fonction du type de la batterie utilisé, par action sur les micro-interrupteurs 4,5 et 6, figure (III.10)

<b>Commutateurs DIP (4-5-6)</b>	<b>Type de batterie</b>	<b>Tension absorp. en MLI</b>	<b>Tens. entret.</b>	<b>Tens. égalis.</b>
off-off-off	1 - Scellée	14,0	13,4	aucune
off-off-on	2 - Scellée	14,15	13,4	14,2
off-on-off	3 - Scellée	14,35	13,4	14,4
off-on-on	4 - Électrolyte	14,4	13,4	15,1
on-off-off	5 - Électrolyte	14,6	13,4	15,3
on-off-on	6 - Électrolyte	14,8	13,4	15,3
on-on-off	7 - L-16	15,0	13,4	15,3
on-on-on	8 - Personn.		Personn.	

Figure(III.10): position des Switch selon le type de batterie

Type de batterie	Tension MLI	Commutateur 4	Commutateur 5	Commutateur 6
1	14,0	Off	Off	Off
2	14,5	Off	Off	On
3	14,35	Off	On	Off
4	14,4	Off	On	On
5	14,6	On	Off	Off
6	14,8	On	Off	On
7	15,0	On	On	Off
8	Personnalisée	On	On	On

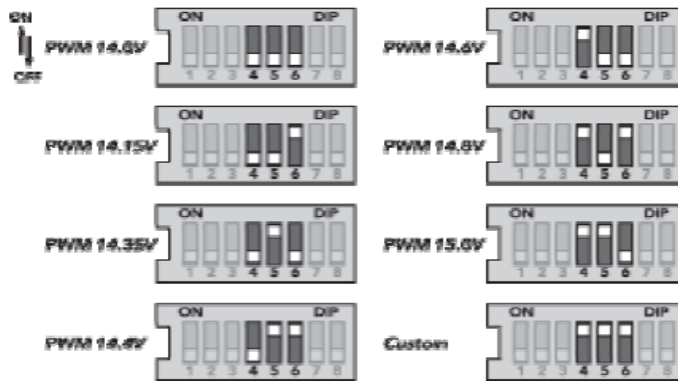


Figure III.11 programmation du régulateur selon le type de batterie

### III.6.l'onduleur

L'onduleur est un convertisseur continu alternatif qui transforme le 12 - 24 V continu en 230V alternatif. En site isolé, l'onduleur permet d'alimenter des récepteurs fonctionnant en courant alternatif. On utilise actuellement des onduleurs ayant un signal de sortie alternatif quasi sinusoïdal. En site non isolé, on peut utiliser un onduleur pour renvoyer de l'énergie sur le réseau. Dans ce cas, on utilise un onduleur sinusoïdal, qui coûte de 4 à 5 fois plus cher qu'un onduleur quasi sinusoïdal. La différence vient du fait que le signal est pur (forme sinusoïdale) et que pour arriver à ce niveau il a fallu employer des filtres.

Selon le mode de commutation, on peut distinguer [14] :

- Onduleur à onde rectangulaire
- Onduleur à onde en escalier, « onde multi niveaux dont l'onde carrée est sa forme la plus simple »
- Onduleur à créneaux de largeur variable
- Onduleur à modulation de largeur d'impulsion (MLI)

Le choix de l'un ou l'autre des aspects ci-dessus dépend : du coût, fiabilité, performance ..etc.

Le signal de sortie obtenu d'un onduleur peut être quasi sinusoïdal (figure III.11) ou sinusoïdal (figure III.12)



Figure (III.11) Onduleur quasi-sinusoidale



Figure III.12 Onduleur sinusoïdale

### III.6.1. Les convertisseurs statiques multi niveaux

Un convertisseur statique est dit « multi niveaux » lorsqu'il génère une tension découpée de sortie composée d'au moins trois niveaux. Ce type de convertisseur présente essentiellement deux avantages. D'une part les structures multi niveaux permettent de limiter les contraintes en tension subies par les interrupteurs de puissance. D'autre part, la tension de sortie délivrée par les convertisseurs multi niveaux présente d'intéressantes qualités spectrales [15].

A cet effet, trois topologies de base des onduleurs multi niveaux se présentent: la topologie à diode de bouclage, la topologie au condensateur flotteur et la topologie en cascade [16], figure (III.13).

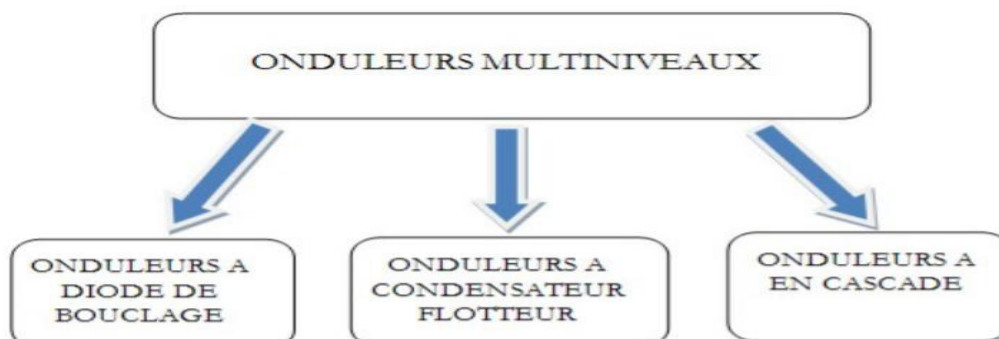
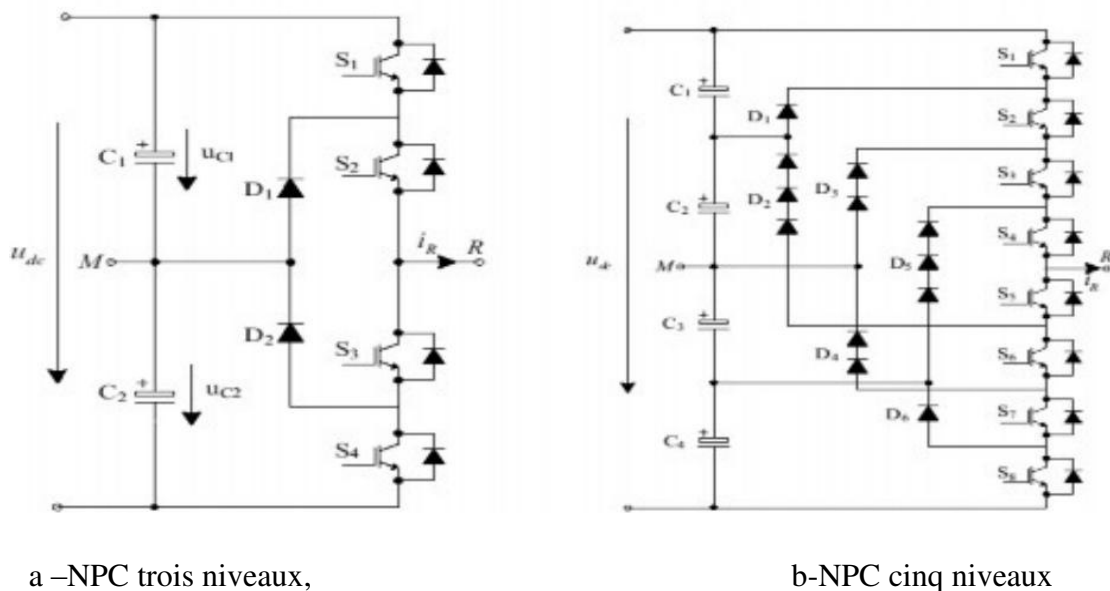


Figure (III.13) : Les différentes topologies des onduleurs multi niveaux



### III.6.2. Onduleur multi niveaux à diode de bouclage

Cette structure d'onduleur multi niveaux a été introduite par A. Nabae et H. Akagi en 1981 . L'objectif était de réduire l'amplitude des harmoniques injectés par l'onduleur dans la charge pour des applications de type alimentation de moteur. L'onduleur NPC à trois et cinq niveau est donné par la figure( III-14) suivante [16]:



a –NPC trois niveaux,

b-NPC cinq niveaux

Figure( III.14) : Onduleur multi niveaux à diode de bouclage

Cette topologie NPC, présente plusieurs avantages dont :

- cette topologie peut être généralisée et les principes employés dans la topologie d'onduleur à trois niveaux peuvent être étendus pour l'utilisation dans des topologies avec n'importe quel nombre de niveaux.

- Toutes les phases partagent le même bus DC.

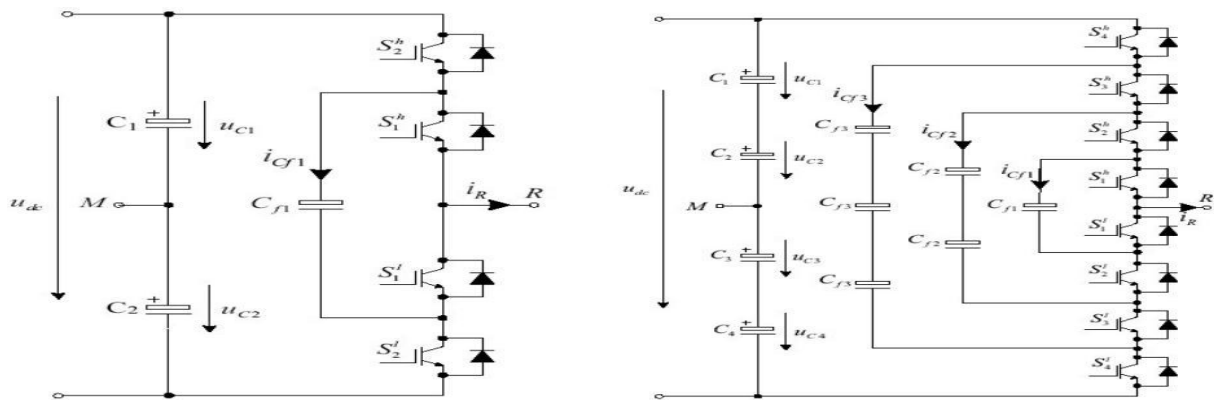
- à haut rendement pour une fréquence de commutation fondamentale Néanmoins, cette topologie peut présenter plusieurs difficultés techniques dans les cas de grande puissance ,citons :

- Pour les topologies avec plus de trois niveaux, et pour des raisons liées aux contraintes de tension, des connexions des diodes en série pourraient être exigées et cela complique la conception et soulève des questions de fiabilité et du coût de réalisation.

- Cette topologie exige des diodes de bouclage à vitesse de commutation élevée qui doivent être capable de supporter le courant de la pleine charge.

### III.6.3 Onduleur multi niveaux à condensateurs flottants

Dans la topologie multi niveaux proposée par T. Meynard et H. Foch en 1992. La structure de ce convertisseur est similaire à celle de l'onduleur diode de bouclage sauf qu'au lieu d'utiliser des diodes de blocage, l'onduleur utilise des condensateurs à leur place figure (III.15). d'où l'appellation "onduleur à condensateurs flottants", cette structure est proposée pour résoudre d'une part le problème de balancement de tension, et d'autre part le nombre excessif de diodes.



a- trois niveau à condensateur flottant

b- cinq niveau à condensateur flottants

Figure( III.15) : Onduleur multi niveaux à condensateurs flottants

La figure (2.15) présente plusieurs avantages, notamment.

- La tension de blocage des interrupteurs partout la même
- Les condensateurs n'étant jamais mis en série entre niveaux différents, le problème du déséquilibre de leur tension n'existe plus ;

Le nombre excessif des éléments dans les structures précitées persiste et pour remédier à ce problème, une génération récente des convertisseurs à alimentation séparée surgit.

### III.6.4 Structure des convertisseurs à alimentation séparée (en cascade)

L'onduleur multi niveaux en cascade figure (III.16) est tout simplement une connexion en série de plusieurs onduleurs monophasée. Il introduit l'idée d'utiliser des sources DC séparée pour produire une onde de tension AC. Chaque onduleur connecté à sa propre source VDC. Les sorties de chaque onduleur, produit une onde de tension en courant alternatif [16].

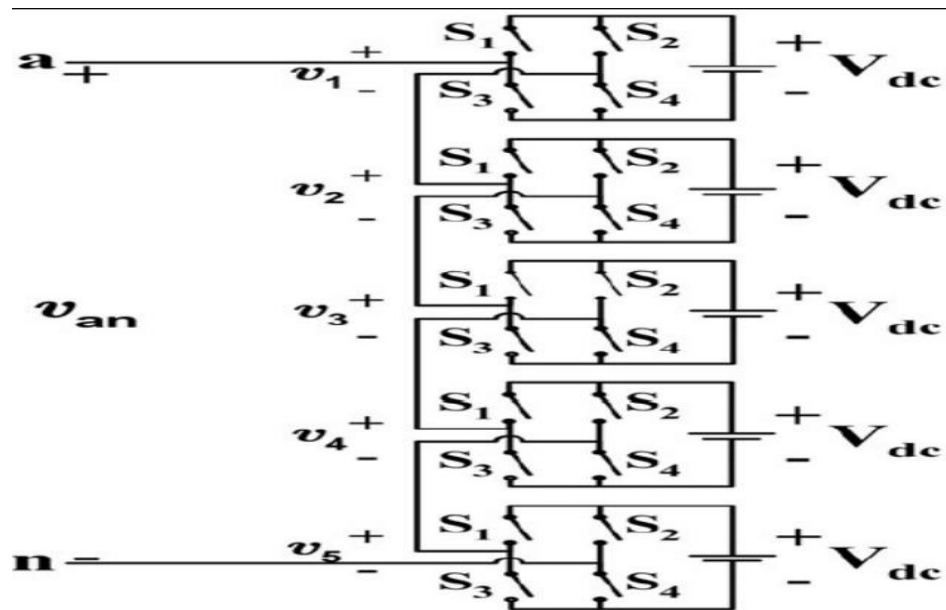


Figure (III.16): Structure en phase d'un onduleur multi niveau en cascade

Parmi les avantages de ce type d'onduleur multi-niveaux citons que Pour atteindre le même nombre de niveaux de tension, ce type de convertisseur nécessite le moins grand nombre de composants .Contrairement à diode de bouclage et onduleur multi niveaux de condensateur flottants aucune des diodes supplémentaires de bouclage ou de condensateurs équilibrage de tension. Et parmi ses inconvénients, citons la nécessité d'équilibrer les sources DC entre les différents niveaux.

### III.7.Onduleur (XANTREX SW série inverter /charger )

L'onduleur utilisé dans notre montage est de marque Xantrax SW3048E dont la description est la suivante [17] :



a- Vue de face

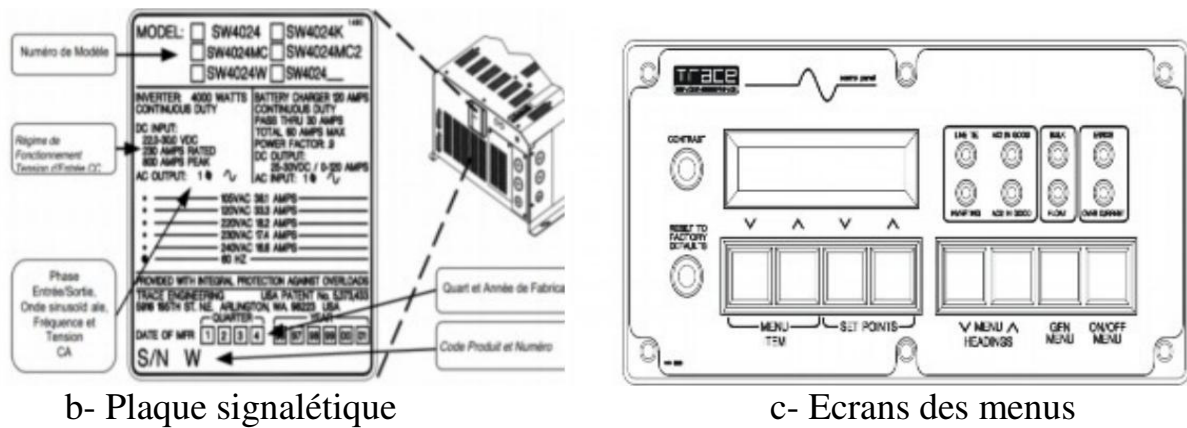


Figure III.17 : Onduleur Xantrax SW3048E

Il est destiné à convertir une entrée  $48 V_{cc}$  en sortie de tension CA et à charger des batteries de  $48 V_{cc}$  lorsqu'il est alimenté par la même tension CA. Les tensions CC disponibles sont des modèles de 12, 24 et 48 volt. Le Tableau de Commande (les boutons de 1 à 8 Figure 3-11-b), situé à l'avant de l'Onduleur/Chargeur Série SW, fournit les contrôles et les écrans dont on a besoin pour ajuster, contrôler et surveiller le fonctionnement de l'appareil. Le tableau de Commande est opérationnel chaque fois que la puissance CC est appliquée aux bornes d'entrée CC de l'onduleur.

### III.8.Fonctionnement

Le modèle SW comprend une combinaison de trois transformateurs : chacun d'entre eux est équipé d'un commutateur basse fréquence, est couplé en série, et est commandé par des régulateurs interconnectés et séparés figure (III.18). Ces trois onduleurs sont liés les uns aux autres par leurs transformateurs.

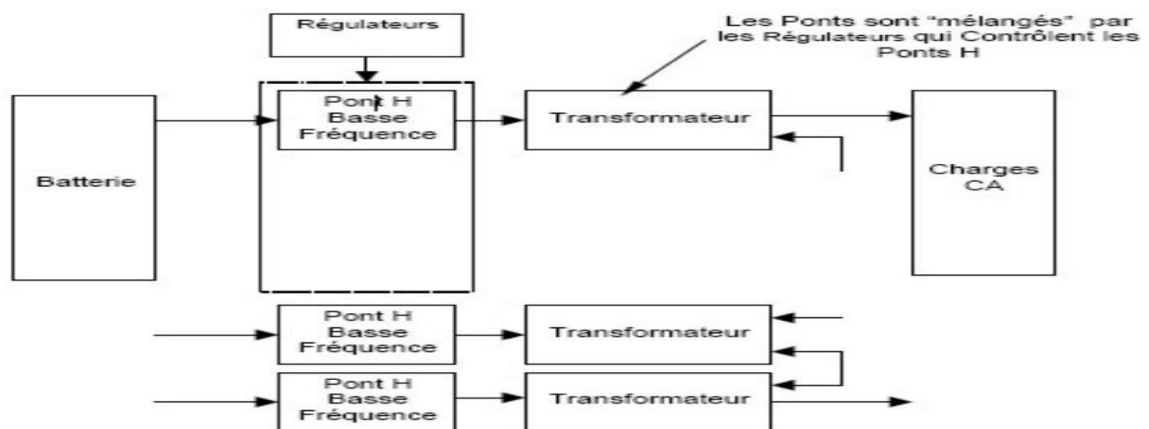


Figure III.18 schéma fonctionnel simplifié de l'onduleur série SWTrace™

En mélangeant les sorties des différents transformateurs, une onde sinusoïdale est produite. La Figure(III-19)montre la forme d'onde de sortie d'un Onduleur/Chargeur Série SW Trace™.On remarque que les « paliers » forment un escalier en forme d'onde sinusoïdale. La distorsion harmonique totale de cette approche d'onde sinusoïdale est habituellement de 3-5%. La sortie à paliers multiples est formée par la modulation de la tension après le « mélange» des transformateurs et leur disposition dans un ordre bien particulier. Plus la charge est lourde, ou plus la tension d'entrée CC est basse, plus la forme d'onde contient de paliers

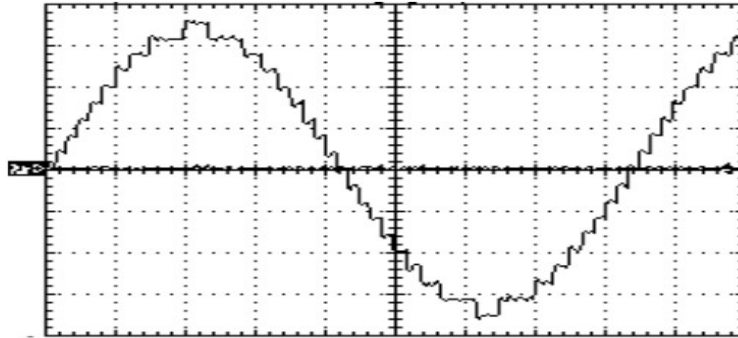


Figure III-19 Onde Sinusoïdale de Sortie de l'Onduleur Série SW Trace™

### III.9 Conclusion

Il est indispensable de savoir qu'un bon fonctionnement d'un montage ou une expérience telle qu'elle soit, repose sur le bon choix du matériels et appareillage de poursuite utilisé pouvant donner l'opportunité à une analyse fine et significatifs des résultats obtenus. Dans ce chapitre nous avons mis le regard sur les types d'éléments les plus important dans notre montage utilisé comme base à notre travail , à savoir un onduleur de marque Xantrax sinwave 3048E et un régulateur Tristar-60 de charge solaire. Qu'on trouvera le fruit de cette reconnaissance au chapitre suivant.

Ceci accentue l'idée de bien étudier le Choix d'appareillage et de connaître leur modes de fonctionnements afin d'avoir les meilleurs résultats des expériences à mener et par conséquent de pouvoir analyser les résultats obtenus.

### IV.1 Introduction

Dans ce chapitre nous nous intéressons au fonctionnement de notre système PV autonome déjà mentionné. Nous vérifierons le fonctionnement de chaque étage de notre système à savoir :

- Les champs PV
- Le chargeur/régulateur de tension Tristar
- L'onduleur Xantrax

A cet effet, on a utilisé certain appareillage et logiciel qui nous permettent de faire le suivie de fonctionnement de notre système. Ainsi, on s'intéresse aux natures, formes et grandeurs des tensions d'entrées et celles des sorties aux bornes de l'onduleurs-chargeurs Xantrax 3048E, des tensions aux bornes de la charge courant de la charge ... etc. Pour faciliter notre tâche, on a utilisé le logiciel MSVIEW servant d'interface entre le régulateur TRISTAR installé dans notre montage et le micro-ordinateur extérieur PC. Ce dernier permet de visualisé les différentes allures des fonctions intégrées. Les essais ont été effectués sur différentes séquences tel que :

- Interaction logiciel MSVIEW- Régulateur TRISTAR.
- Observation du fonctionnement de la source PV
- Observation du fonctionnement du chargeur de batterie
- Observation du fonctionnement de l'onduleur

### IV.2 Introduction logiciel msview –régulateur Tristar

#### - Le logiciel MSVIEW

Ce logiciel est une open source fournie par le fournisseur des équipements TRISTAR et serve à la gestion des fonctions intégrées dans les équipements concernés. Grâce à la communication série RS232 entre le TRISTAR et le port série du PC, les données peuvent circulées dans les deux sens, soit pour la programmation et le contrôle de l'appareil ou bien pour l'acquisition des données (Download). Comme les nouveaux PC sont seulement munis de port USB, il était nécessaire d'installer une carte d'interface série RS232 sur le bus du PC.

### -Implantation du logiciel MSVIEW :

Ce dernier est téléchargé à partir du site [www.morningstarcorp.com](http://www.morningstarcorp.com) est installé sur le disque dur du PC. L'installation du driver est aussi obligatoire. Dès l'installation et l'exécution, le menu principale apparaîtra comme suite, figure (IV.1):

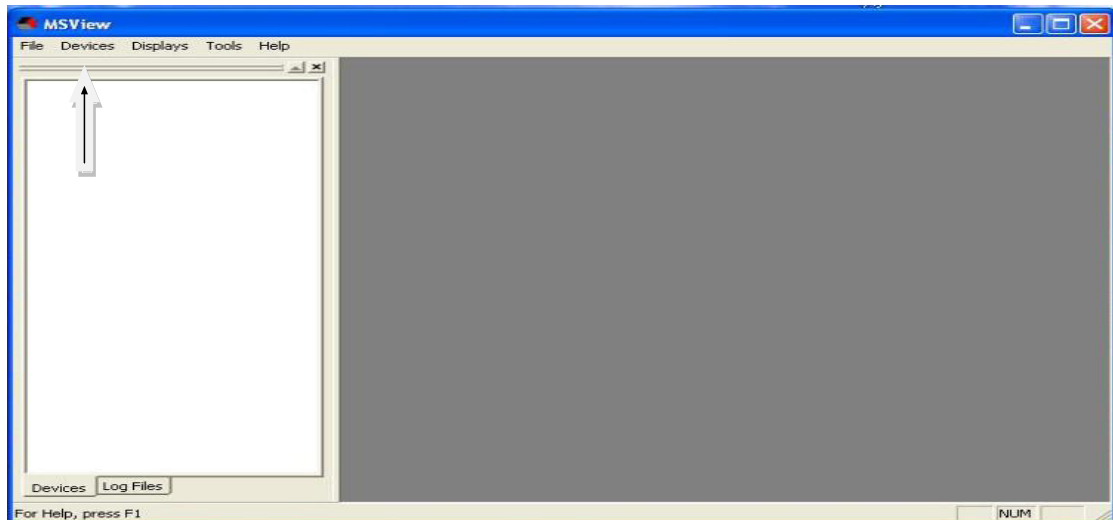


Figure (IV.1) : menu principale du logiciel MSVIEW

A partir de ce menu, on cherche l'équipement associé, qui est dans notre cas le Tristar, sur le menu device, on choisie la fonction « search for connected devices ». L'appareil associé apparaîtra dans la fenêtre de recherche et sera ainsi choisie pour communiquer avec le logiciel, figure (IV.2).

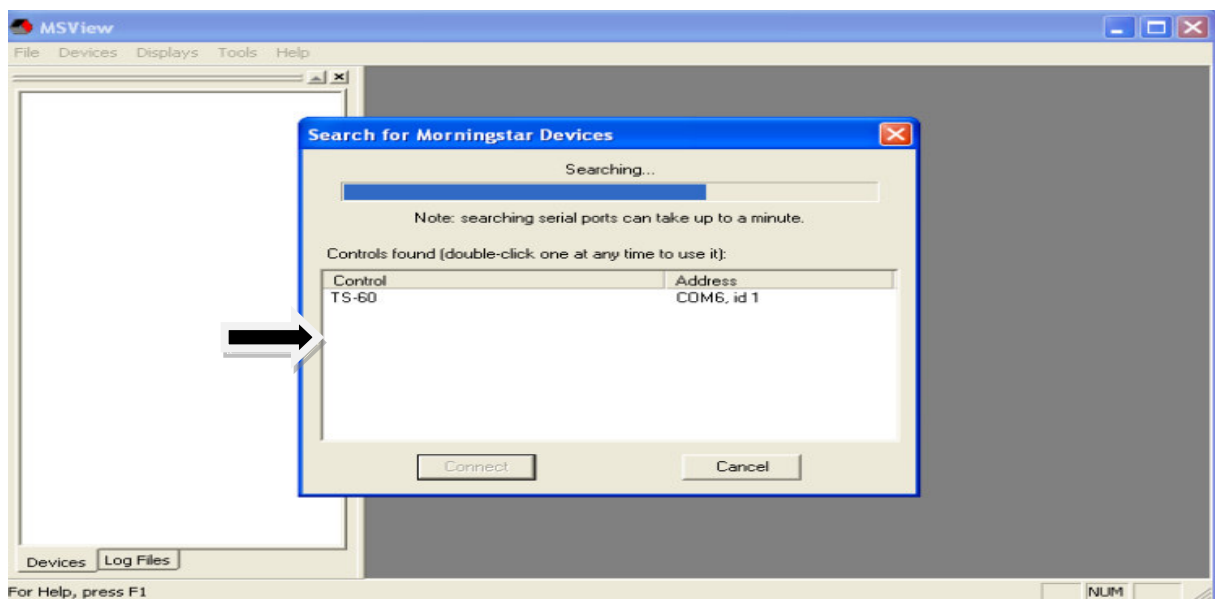


Figure (IV.2) : détection de l'équipement

Après association, le menu du Tristar apparaîtra sur la barre des fonctions à gauche du menu principale, figure (IV.3) et pour l'acquisition des données, on devrait ouvrir un fichier CSV (comma separated values file) dans lequel toutes les valeurs issue du Tristar seront stockés et affichés sur l'écran.

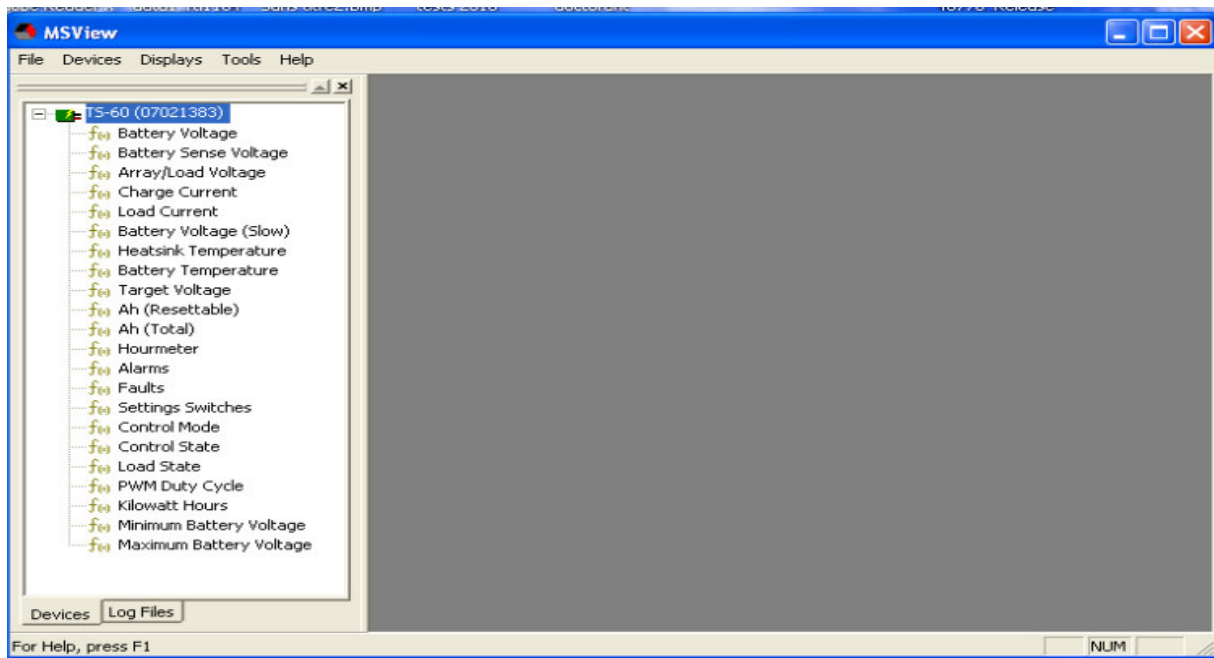


Figure (IV.3) : détection réussie de l'équipement

L'utilisateur pourra choisir parmi la liste des paramètres issus du Tristar ceux qui voudra observer. Le tableau suivant donne toutes les variables disponibles. Les paramètres désirés sont glissés directement dans la fenêtre d'acquisition. De plus, l'utilisateur peut choisir la fréquence d'acquisition qui est limitée par deux contraintes qui sont la précision désirée et le volume du fichier final, figure(IV.4). A ce stade, on peut commander le suivi du système pour une poursuite on line de son fonctionnement ainsi que l'affichage de toutes les valeurs désirées sur l'écran.



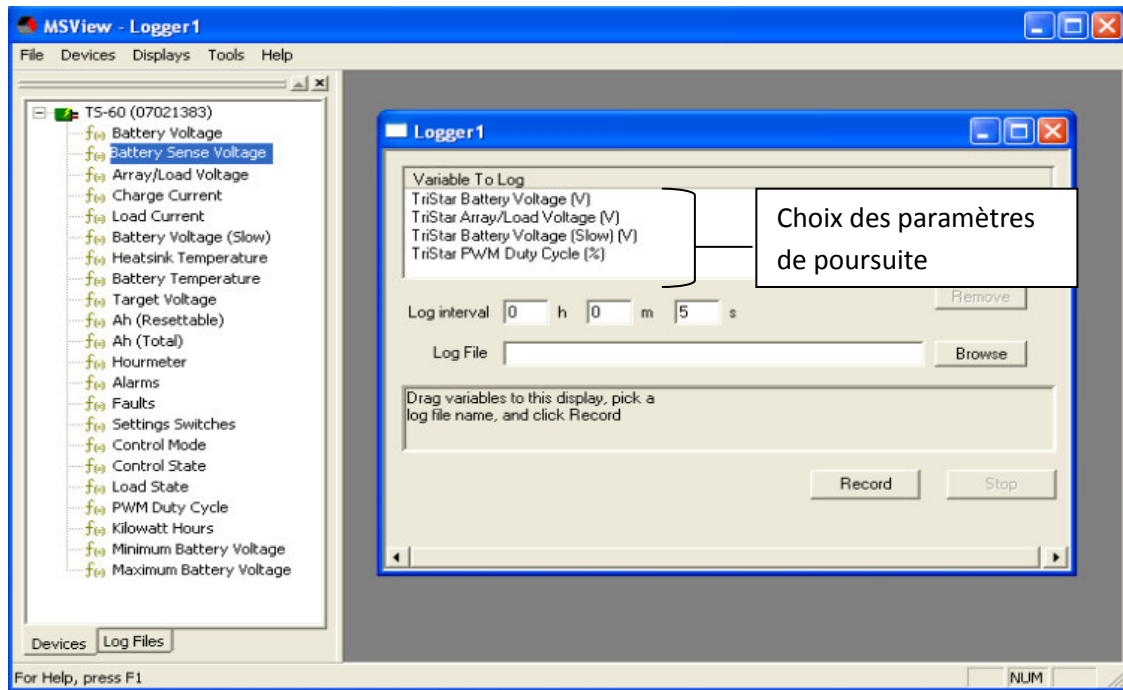


Figure (IV.4) : choix des paramètres désirés

Pour une utilisation ultérieure de ces données, le fichier ainsi obtenu peut être exploité sur Microsoft Excell.

### IV.3 Batteries solaires

Il est clair que pour augmenter la tension des batteries, une ou plusieurs batteries doivent être. Montées en série, contrairement quand on veut augmenter la capacité Ah de deux ou plusieurs batteries, on les monte en parallèle. De ce fait, on peut conclure que plusieurs batteries peuvent être montées en série parallèle selon ns besoins en courant et/ou en tension [18].

Dans le cas de 4 batteries montées en série-parallèle, la tension totale est la tension obtenue par la mise en série des batteries ; la capacité totale est la capacité des batteries en parallèle. Tels qu'il a été décrit précédemment « Chapitre1» les batteries fréquemment utilisés dans les montages photovoltaïques sont à base d'acide –plomb. Dans notre montage, nous avons à utiliser 4 unités de batteries 12v/100Ah qui sont raccordés comme indiqué à la figure (IV.5) Afin d'avoir une valeur de la tension égale à 48V(le courant reste de valeur de 100Ah , montage série des batteries).

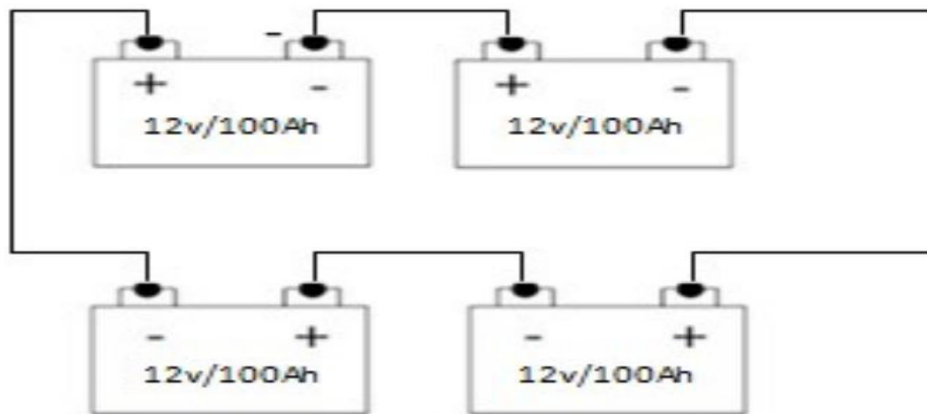


Figure IV.5: raccords des batteries

### IV.4 L'installation PV utilisée

Relativement à beaucoup d'autres énergies, le photovoltaïque (PV) consiste à produire de l'électricité à partir de la lumière et c'est propre et moins coûteuse surtout pour un investissement à moyen et long termes. Tandis que la continuité de service repose sur.

- Le coût de son acquisition dont l'amortissement est le plus souvent calculé sur une décade au minimum.
- Les composants les plus onéreux sont pour les utilisations conventionnelles, les panneaux et les unités de stockage (batteries). Les premiers ont une durée de vie avoisinant les 20- 25 ans tandis que les batteries selon leurs spécificités pourront fonctionner entre 3 à 7 ans.
- L'entretien périodique des batteries, panneaux et des câblages.
- Outre le câblage qui peut subir des détériorations au fil du temps, la maintenance se résume le plus souvent au changement des batteries tout en tenant compte aux utilisations extrêmes d'installation (froid, humidité et chaleur).
- La faible tension produite impose un dimensionnement inversement conséquent du parc de stockage et ce qui est accru dès lors que la consommation sera importante.

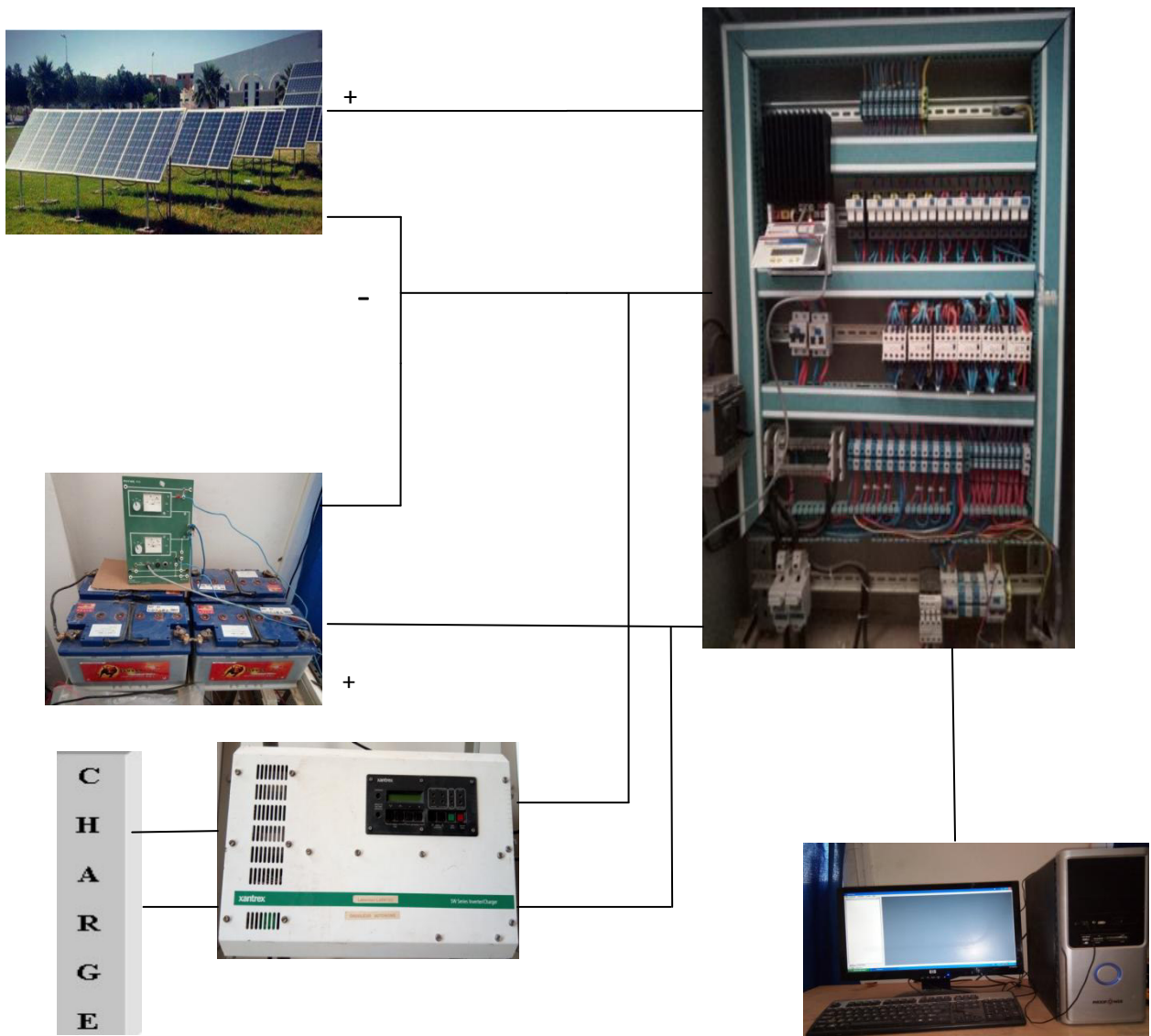


Figure IV.6: photo de l'installation PV utilisée

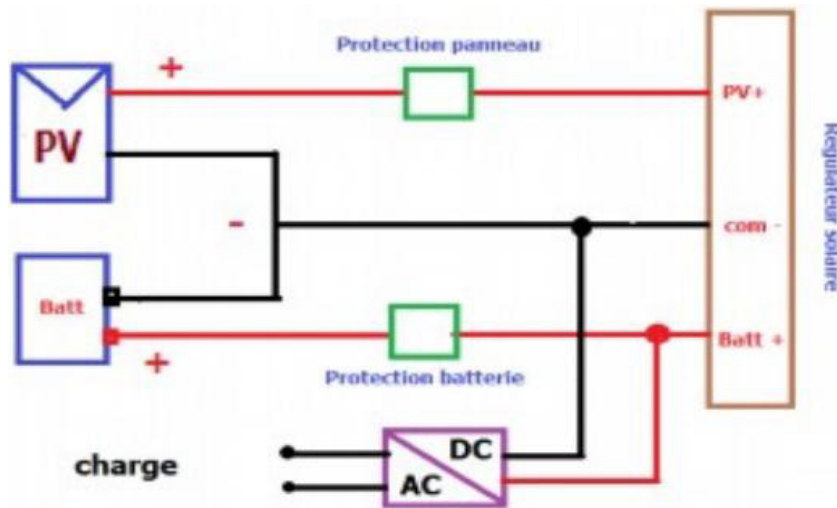


Figure IV.7: schéma de raccordement d'un système PV autonome

## IV.5 Observation de fonctionnement de chargeur de batteries

Notre Tristar est programmé durant tous les essais comme suit :

DIP N°	Position DIP	Mode de fonctionnement
1	Off	Tristar est configuré en mode de contrôle de charge solaire de la batterie
2 et 3	On - On	la tension sélectionnée est d'une valeur de 48V
4,5 et 6	On - Off - Off	la tension MLI sélectionné et de 14,6V pour le type 4 de batterie (Acide-Plomb)
7	On	Activation automatique du mode de la charge d'égalisation de la batterie.
8	Off	Dans les cas où la régulation MLI provoque des bruits parasites sur les charges (p. ex. certains types d'équipement de télécommunication ou de radios), il est possible de transformer le TriStar pour une méthode de régulation « Marche-Arrêt » de la charge solaire en mettant le DIP N08 en position On.

Cet appareil fournit toutes les informations concernant le coté DC en logiciel MSVIEW, dans notre cas on préfère suivre les paramètres qui sont mentionner dans le paragraphe IV.2 .Les figures suivantes illustrent différentes allures des variables choisis.

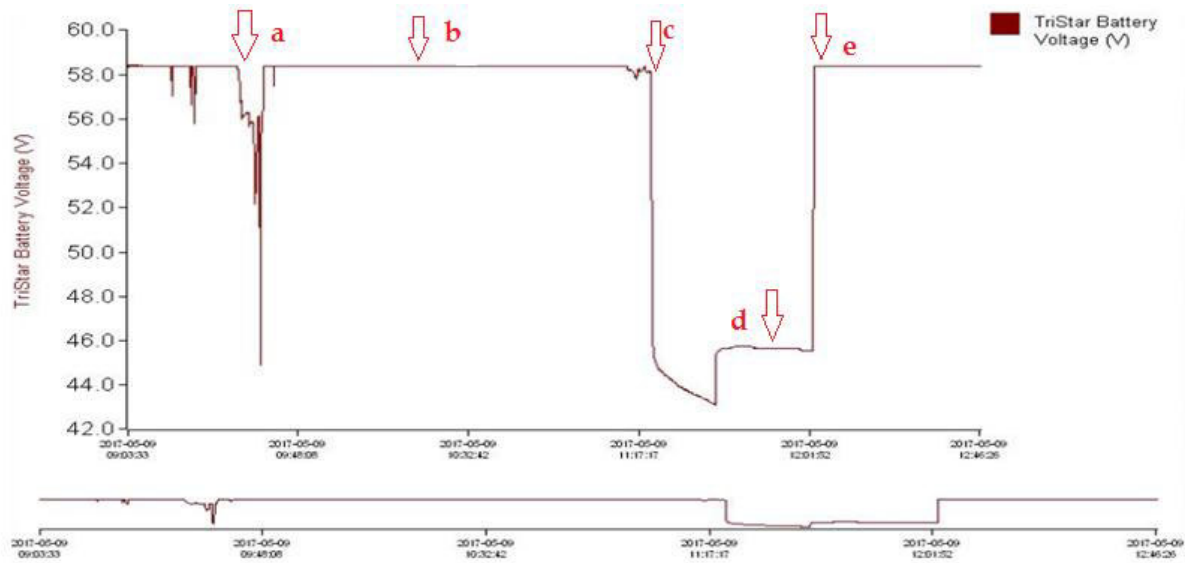


Figure (IV.8) : allure de la fonction : tension de la batterie

Cette figure(IV.8) montre la tension de la batterie appliquée sur le régulateur de charge. Il est évident que la valeur maximal est de 58,4 V (14,6V x4) si la tension des panneaux est au-delà de cette valeur programmée. (point a) Dans cette manipulation ,les batterie utilisé sont très ancienne (Agées de 4 années) ,pendant le fonctionnement elle s'échauffent et leur température augmente ce qui provoque un dégagement de gaz sulfurique dangereux ainsi pour éviter ce problème on doit arrêter le fonctionnement du système , cela est observé au (point c) dans lequel on a débranche le champ photovoltaïque ,l'onduleur continue à fonctionner et les batterie se décharge très rapidement .pour éviter une décharge profonde des batterie, il faut arrêté l'onduleur ,( point d) et les batteries maintiennent temporellement leur charge. Après un certain temps ,on peut redémarrer notre système (point e) .



Figure (IV.9) : allure de la fonction courant de charge

La figure (IV.9) présente le courant de charge des batteries, au début, les batteries sont déchargées d'où on a un fort appel de courant, (point a) Nous notons une augmentation du flux de volatile et cela est dû à des changements dans la lumière du soleil. cela est observé au (point b) dans lequel on a débranché le champ photovoltaïque. Après un certain temps, on peut redémarrer notre système (point c).



Figure IV.10 : allure de la fonction : Tension des panneaux

La figure (IV.10) présente l'allure de la tension des panneaux photovoltaïques. On peut bien voir les fluctuations de cette tension qui est due aux variations de Température. cela est

observé au (point b) dans lequel on a débranché le champ photovoltaïque. Après un certain temps ,on peut redémarrer notre système (point c) .

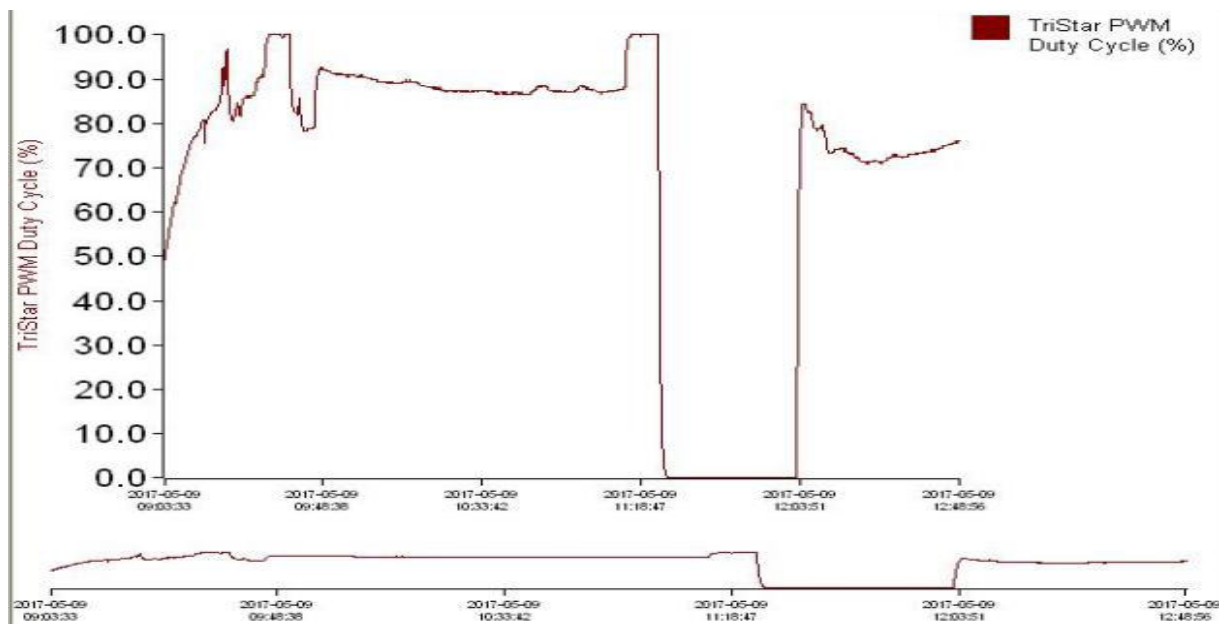


Figure IV.11 : allure de la fonction : commande MLI de régulateur

la figure (IV.11) montre les variation de valeur du figure MLI en fonction de la tension d'entré délivrée par le champs photovoltaïque.

### IV.6 Observation du fonctionnement de la source PV

Comme indiqué précédemment au chapitre3 dans le paragraphe III.2 notre source PV est constituée ,d'un ensemble de la panneau solaire monté en parallèle .chaque panneau est constituée de 4module monté en série

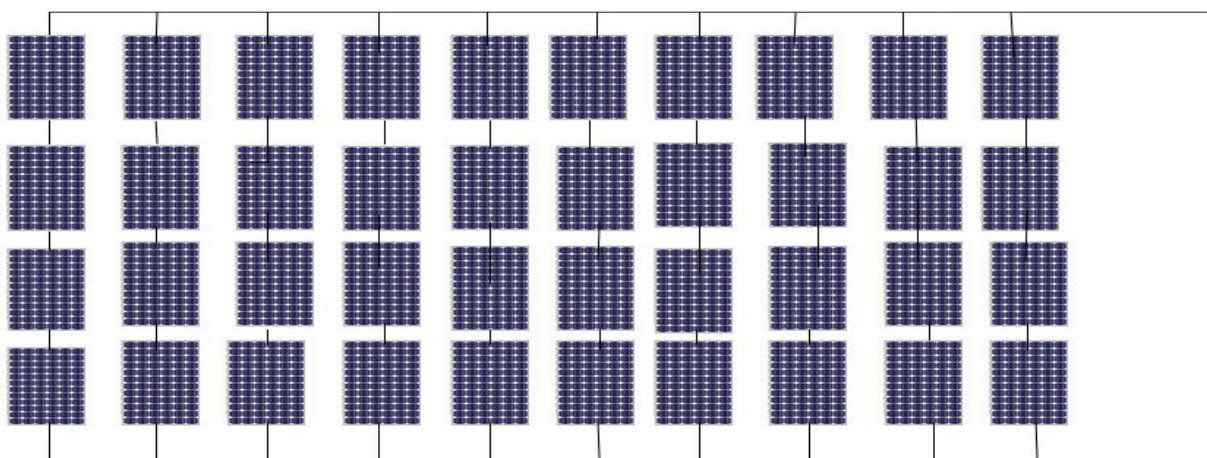


Figure IV.12 : vue du champ photovoltaïque utilisé

La figure suivante (IV.13) représente les caractéristiques courant - tension I-V d'un panneau pour différentes valeurs d'irradiations incidentes et pour une température ambiante de 25 °C selon les résultats pratiques.

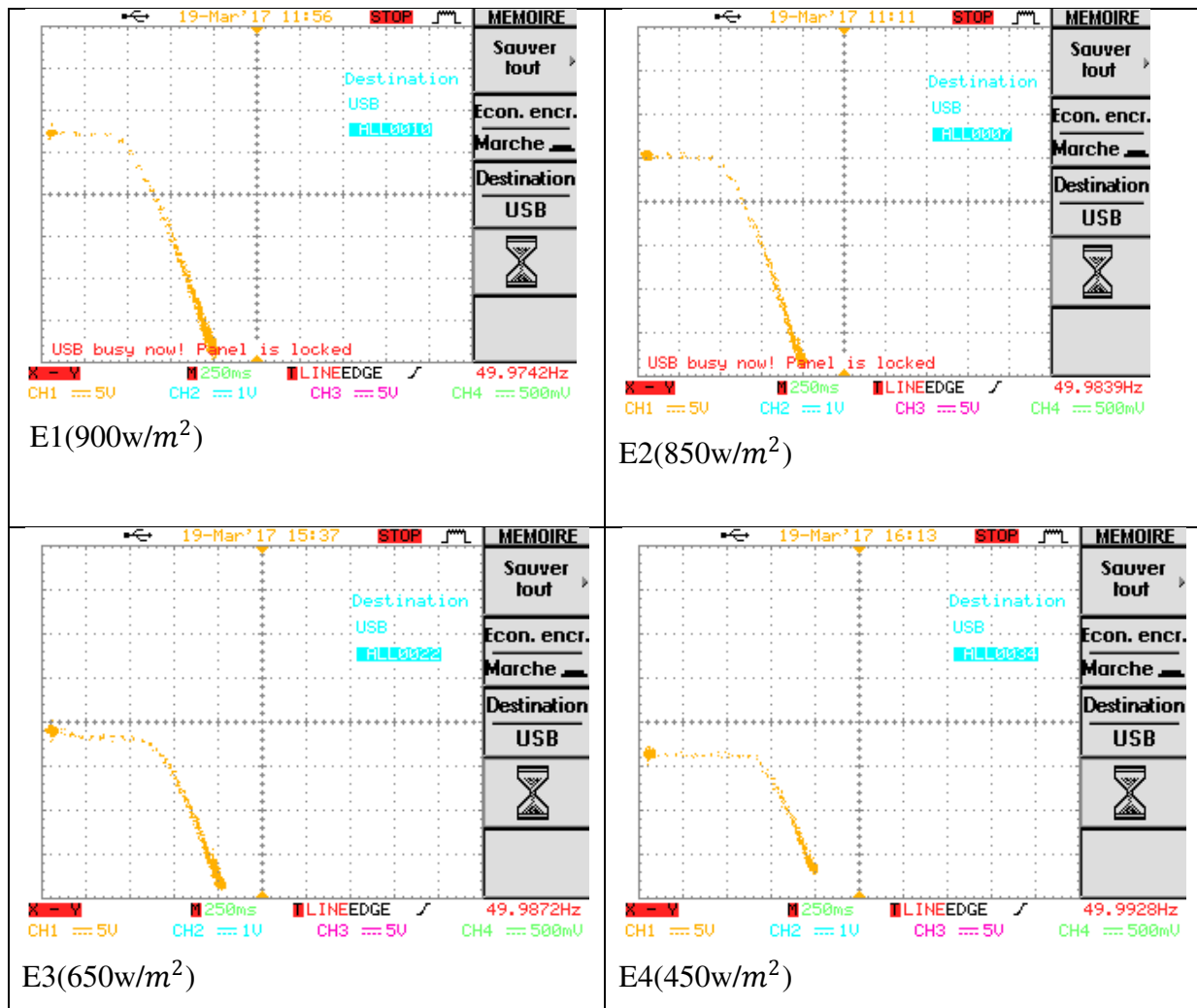


Figure IV.13 : Caractéristique courant - tension d'un panneau pour différentes valeurs d'éclairéments

## IV.7 Observation du fonctionnement de l'onduleur

La première chose à observer pour l'onduleur est sa tension de sortie. Ainsi plusieurs mesures sont prises pour différents conditions de travail afin de mieux comprendre la topologie utilisée dans ce système. La figure (IV.10), ci-dessous illustre l'allure de la tension alternative sinusoïdale générée par l'onduleur Xantrax . Il est bien évident que cette forme est quasi-sinusoïdale d'une fréquence de 50Hz et d'une valeur efficace de = 236 V [19].



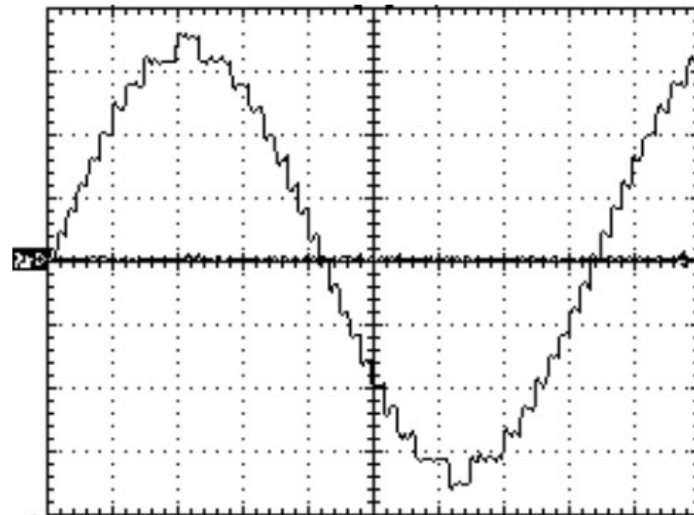


Figure IV.14 : Onde Sinusoïdale de Sortie de l'Onduleur Série SW Trace™[19]

Il est clair que cette tension est issue d'un onduleur multi niveaux, mais toutes nos tentatives de trouver un schéma électronique pour ce type d'onduleur restent sans vains. Le fournisseur n'a fourni aucune information dans ce sens. La seule trace trouvée c'est qu'il s'agit d'un onduleur multicellulaire en H illustré ci-dessous figure( IV.10).

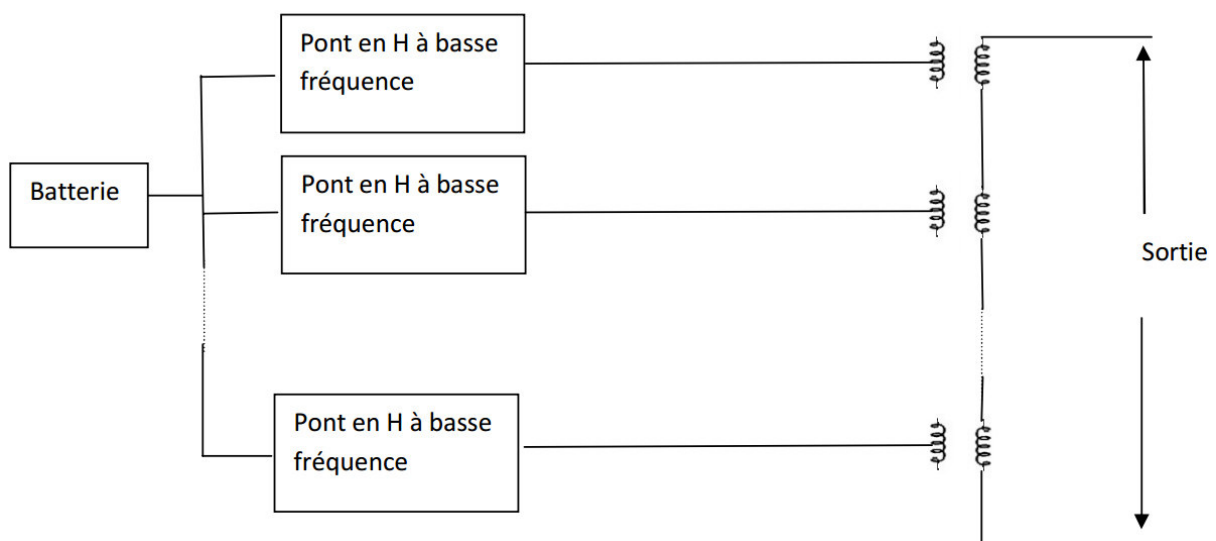


Figure IV.15 : Onduleur multi niveaux en H

La conversion de l'onde de sortie est obtenue de la somme de ' n ' pont en H fonctionnant en basse fréquence diminuant ainsi les pertes par commutation.

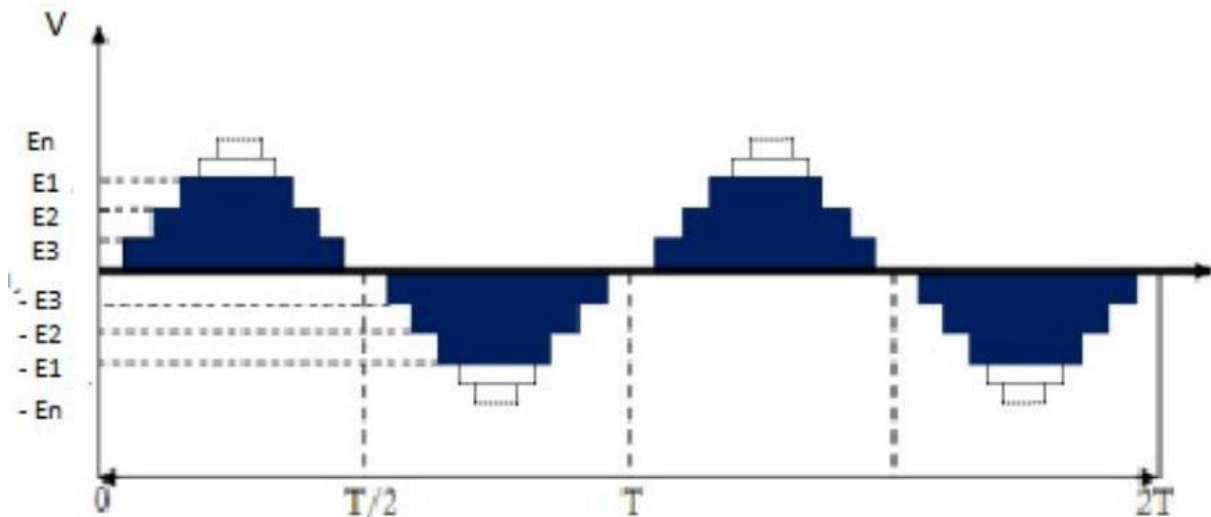


Figure IV.16 : Onde de sortie obtenue à partir de 'n' pont en H

La synthèse d'une onde sinusoïdale exige dans ce cas un grand nombre de paliers mais cela est limité par des contraintes techniques. Dans ce cas pour améliorer la qualité de l'onde sinusoïdale et diminuer le THD « Total harmonique distorsion », on présume que la technique d'élimination d'harmonique est utilisée ; et selon la hauteur des paliers, dépendant de la tension d'entrée, il faut déterminer la largeur de chacun deux . [19]

Les figures suivantes

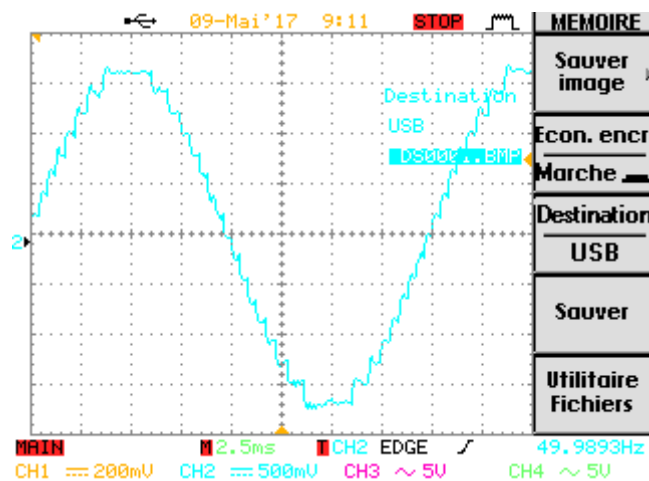


Figure IV.17 tension de sortie d'un onduleur

cette figure représente la tension de sortie de l'onduleur a vide avec une tension maximale 1.6v. Cette figure représente un zoom de la tension de sortie de l'onduleur a vide

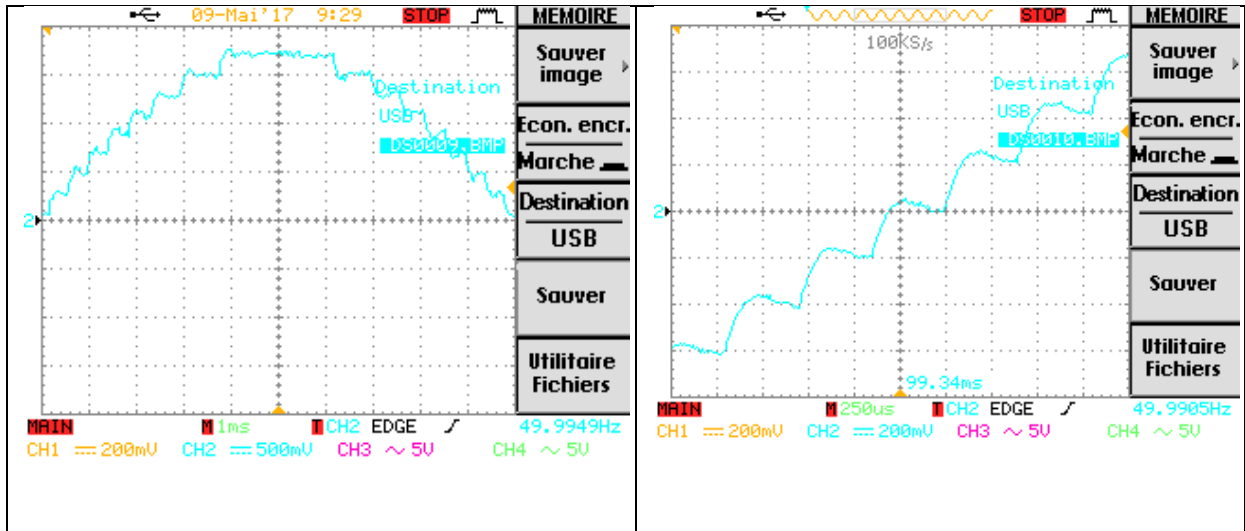
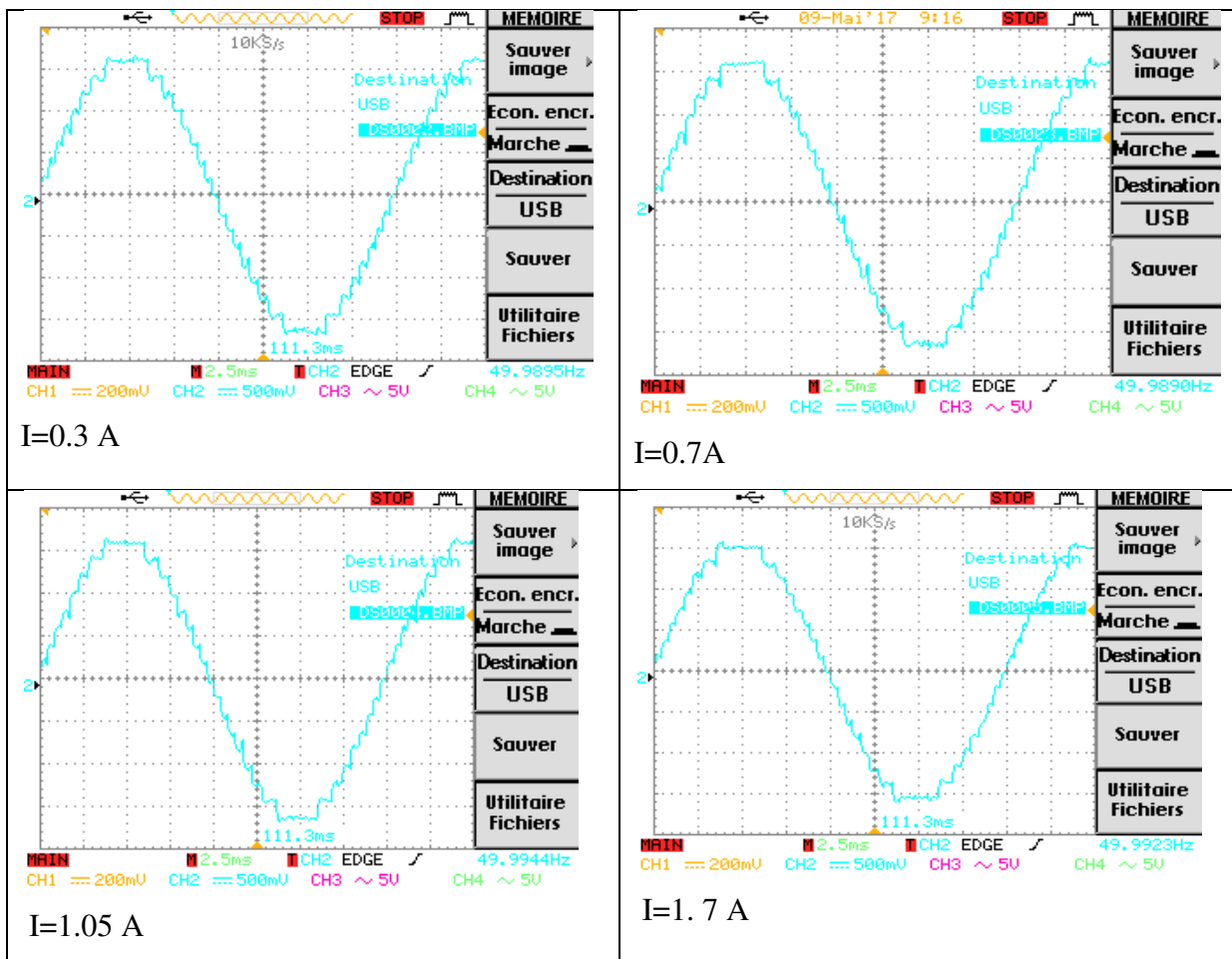


Figure IV.17: zoom de la tension de sortie de l'onduleur a vide

on diminuant la charge le courant augmente et la tension diminue parce que la puissance demande par l'onduleur plus grande que la puissance donne par le panneau solaire.



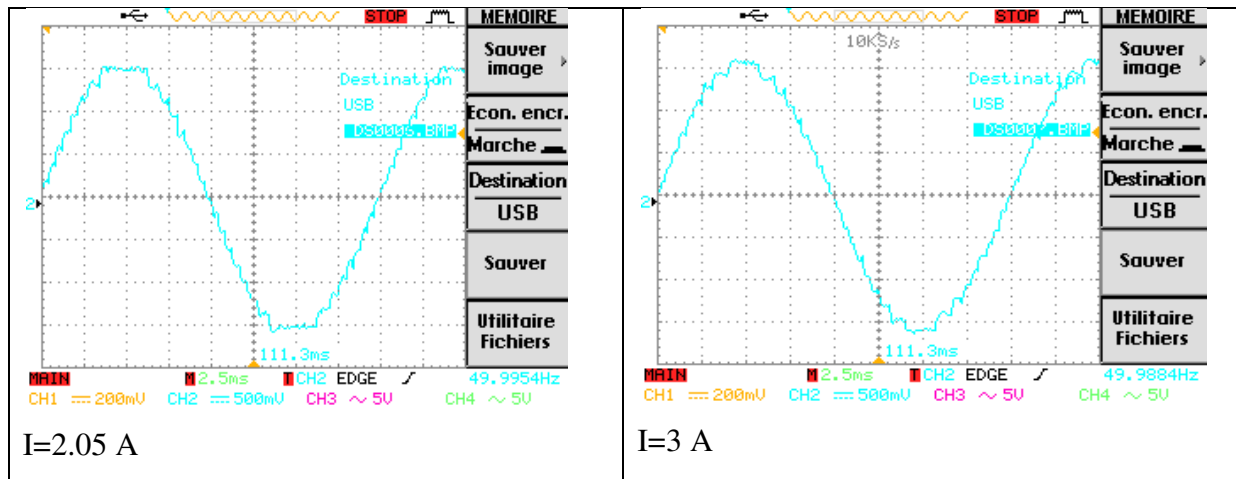


Figure IV.18: tension de sortie de l'onduleur pour différent courant décharge

la figure montre la tension de sortie de l'onduleur pour différent charge .on observe la variation de la forme d'entre selon la valeur la charge alimente.

## IV.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons examiné le côté pratique de chacun des éléments mentionnés dans le troisième chapitre de ce système et de plus ça nous a permis de connaitre le mode de fonctionnement de ces éléments, on a utilise un programme "Moniteur" appelé MS-view pour observer le fonctionnement de la station et toute les paramètre nécessaire tel que les courants ,tensions , énergie, rapport cyclique ....etc. .De l'onduleur qui délivre tension de forme quasi-sinusoidale sans oublier le fonctionnement du régulateur de charge.

**Module photovoltaïque choisi et ces caractéristiques**

Fabricant	ALPV
Modèle	ALPV85-125M-36
Type de cellules	Monocristallin, 152x125 mm
Nombre de cellules	36 cellules
Puissance maximale (Pmax)	85 W
Tension en circuit ouvert (Voc)	22.21 V
Courant de court-circuit (Isc)	5.45 A
Tension à Pmax (Vmp)	17.49 V
Courant à Pmax (Imp)	5.06 V
Tension maximale du système	700V
Dimensions	1225x545x35
Poids	8.5 Kg
Rendement(%)	13.65

**Type de batterie choisi et leurs caractéristiques**

Information détaillées

TENSION	12 volts
CAPACITE	100 ah
LONGUEUR	354 mm
LARGEUR	175 mm
HAUTEUR	190 mm (cosses incluses)
TECHNOLOGIE	Plomb calcium
BORNE +	Droite
TYPE DE BORNE	Plots



**Caractéristiques techniques / MORNINGSTAR TS-MPPT-60**

## Caractéristiques techniques / MORNINGSTAR TS-MPPT-60

Courant batterie maximum	60 A
Tension nominale du système	12V, 24V, 36V ou 48V
Puissance maximale du champ solaire en entrée	12V : 800W 24V : 1600W 48V : 3200W
Rendement optimum	99%
Tension de circuit ouvert solaire maximum	150 V cc
Fourchette de tension de fonctionnement de la batterie	8 à 72 V cc
Autoconsommation maximum	2.7 watts
Protection contre les surtensions transitoires	4500 watts/port
Température ambiante admise	-40 °C à +45 °C
Tropicalisation	Encapsulation sous époxy, revêtement conforme, bornes classées « Marine »
Niveaux de charge batterie	Normal, absorption, flottage, égalisation
Taille maxi câbles	35 mm <sup>2</sup> / 2 AWG
Enceinte	Type 1 (intérieur et ventilée) IP20

## Dimensions

Largeur	291mm
Hauteur	130mm
Epaisseur	142mm
Poids	4200g

**Protections électroniques :**

- Protection contre l'inversion de polarité (toute combinaison)
- Protection contre les court-circuits
- Protection contre les surintensités
- Protection contre la foudre et les surtensions transitoires

par supresseurs de tension transitoire de 4500 W

- Protection contre les hautes températures

par réduction automatique du courant ou arrêt complet

- Empêche la fuite de courant inverse de la batterie la nuit



TRACE / XANTREX  
SÉRIE SW INVERTER  
SINE WAVE POWER  
Spécifications SW Séries II



	SW4024	SW3024E	SW4048	SW3048E	SW5548	SW4548E
Tension nominale d'entrée DC	24 VDC	24 VDC	48 VDC	48 VDC	48 VDC	48 VDC
AC Tension de sortie (RMS)	120 VAC	230 VAC	120 VAC	230 VAC	120 VAC	230 VAC
Fréquence nominale	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz
Puissance continue @ 25 ° C	4000 VA	3300 VA	4000 VA	3300 VA	5500 VA	4500 VA
Sortie continue AC (@ 25 ° C)	33 ampères	14 ampères	33 ampères	14 ampères	46 ampères	20 ampères
Sortie CA maximale (RMS)	78 ampères	34 ampères	78 ampères	34 ampères	78 ampères	34 ampères
Efficacité (pic)	94%	94%	95%	95%	96%	96%
Relais de transfert automatique AC	60 ampères	30 ampères	60 ampères	30 ampères	60 ampères	30 ampères
Charge Taux maximal	120 ampères	100 ampères	60 ampères	50 ampères	75 ampères	60 ampères

### AC Caractéristiques de sortie

AC onde de sortie	Onde sinusoïdale, de 34 à 52 étapes par cycle
Régulation de tension	+/- 2%
Distorsion harmonique totale	3 à 5% (stand alone)
Facteur de puissance autorisés	-1 À 1
Régulation de fréquence	+/- 0,04% (cristal réglé)
Chargez Portée de détection	16 à 240 Watts
Type de châssis	Intérieur, aéré, châssis en acier avec finition powdercoat
Plage de température spécifiée	32 ° F à 104 ° F (0 ° C à + 40 ° C) (sortie se réunira tolérances de régulation spécifiés)
Plage de température autorisés	-40 ° F à 140 ° F (-40 ° C à + 60 ° C)
Dimensions - Inverter Seulement	15 "(38 cm) de hauteur, 22,5" (57 cm) de large, 9 "(23 cm) de profondeur (mural)
Dimensions - Frais de port	20,5 "(52 cm), 27" (69 cm), 15,5 "(40 cm)
Poids - Frais de port	£ 111 (50 kg)    £ 111 (50 kg)    £ 111 (50 kg)    £ 111 (50 kg)    £ 143 (65 kg)    £ 143 (65 kg)