

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

Réf:.....

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

**MASTER**

*Thème*

Etude des performances d'une installation PV  
autonome dans le site de Biskra

Présenté par :  
HADDOU nadjib  
Soutenu le : 31 MAI 2016

Devant le jury composé de :

Mle .GUERGAZI aicha

Mr Moussi ammar

Mme Laala widad

Maitre de conférences A

Professeur

Maitre assistant chargé de cours

Président

Encadreur

Examineur

**Année universitaire : 2015 / 2016**

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 installation PV  
autonome dans le site de Biskra

**Présenté par :**

*HADDOU nadjib*

**Avis favorable de l'encadreur :**

*Professeur MOUSSI ammar*

*signature*

**Avis favorable du Président du Jury**

*MCA GUERGAZI aicha*

*Signature*

**Cachet et signature**

## REMERCIEMENTS

Merci au bon dieu le tout puissant..

Ce Montage a été réalisé au Laboratoire des énergies renouvelables du département d'Electrotechnique de l'université mhamed khider Biskra sous la direction de monsieur Moussi ammar, professeur à l'université de Biskra. Je tiens vivement à le remercier pour m'avoir continuellement encouragé et guidé dans mes travaux, et pour l'initiative qu'il m'a laissée.

Je remercie le Docteur Guergazi aicha et le M.A.A Laala widad d'avoir accepté d'examiner mon travail et de me faire l'honneur d'être respectivement Président du Jury et examinateur de mon mémoire.

Que soient remerciés le Docteur Ghodbane hatem à l'Université de Biskra de son assistance, le professeur Naimi djemai à l'Université de Biskra de ses encouragements continuels.

Je remercie aussi mon collègue Mrabet youcef chef du laboratoire des énergies renouvelables de l'université Biskra et tous ceux qui ont contribué moralement à la réalisation de ce travail.

## DEDICACE

Je dédie ce travail à mes très chers parents, mon épouse, mes fils, mes frères et ma sœur unique Imen...à toute ma famille et à tous mes amis.

Ing. N.HADDOU

# Sommaire

Introduction générale .....	01
<u>Chapitre 1 : Les énergies renouvelables</u> .....	03
1.1 Introduction .....	03
1.2 Les énergies renouvelables .....	03
1.2.1 L'énergie hydraulique.....	04
1.2.2 L'énergie de la biomasse.....	04
1.2.3 L'énergie de la géothermie.....	05
1.2.3.a La géothermie très basse énergie.....	05
1.2.3.b La géothermie basse énergie.....	06
1.2.3.c La géothermie moyenne énergie.....	06
1.2.3.d La géothermie haute énergie.....	06
1.2.4 L'énergie éolienne.....	07
1.2.5 L'énergie solaire .....	08
1.3 Conversion de l'énergie photovoltaïque .....	10
1.3.1 Type de systèmes photovoltaïques.....	11
1.3.1.a Systèmes autonomes.....	11
1.3.1.b Systèmes photovoltaïques connectés au réseau.....	11
1.3.2 Avantages et inconvénients d'une installation PV.....	12
1.3.2.a Avantages.....	12
1-3.2.b Inconvénients.....	12
1.4 Conclusion.....	12
<u>Chapitre2 : Systemes photovoltaïques autonomes</u> .....	13
2.1 Introduction .....	13
2.2 Le générateur photovoltaïque .....	14
2.2.1 Principe d'une cellule photovoltaïque.....	14
2.2.2 Protections classiques d'un GPV.....	17
2.3 Les batteries .....	18
2.3.1 Généralités.....	18
2.3.2 Choix du type de batterie.....	19
2.3.2.a Composition d'une batterie solaire plomb- Acide .....	19
2.3.2.b Les caractéristiques d'une batterie au plomb.....	20
2.3.2.c Batteries scellées (GEL et AGM) .....	21

2.3.3 Charge de batterie.....	22
2.3.4 Risque de surcharge.....	23
2.4 Le regulateur de charge des batteries .....	24
2.5 L'onduleur .....	25
2.5.1 Les convertisseurs statiques multi niveaux .....	26
2.5.1-a Onduleur multi niveaux à diode de bouclage .....	27
2.5.1.b Onduleur multi niveaux à condensateurs flottants.....	28
2.5.1.c Structure des convertisseurs à alimentation séparée (en cascade).....	29
2.6 Conclusion .....	30
<u>Chapitre 3 : Le montage étudié.....</u>	31
3.1 Introduction .....	31
3.2 Générateur photovoltaïque .....	32
3.2.1 Description .....	32
3.2.2 Raccordement des panneaux solaire .....	33
3.2.3 Le branchement mixte .....	33
3.3 Regulateur de charge TRISTAR .....	34
3.3.1 Mode Chargesolaire de la batterie .....	35
3.3.2 Mode Contrôle de l'appel de puissance.....	35
3.3.3 Mode Contrôle de la charge de dérivation .....	35
3.4 Options offertes .....	35
3.4.1 Sonde thermique à distance (RTS) .....	36
3.4.2 Mesure de la batterie (sens) .....	36
3.4.2 Réglage des commutateurs DIP .....	37.
3.5 Onduleur (XANTREX SW série inverter/charger ) .....	40
3.5.1 Description .....	41
3.5.2 Fonctionnement.....	41
3.5.3 Modes de fonctionnement .....	42
3.5.3.a Inverter mode (mode onduleur).....	43
3.5.3.b Charger mode (Mode chargeur ).....	43
3.5.3.c Inverter /charger mode (mode onduleur/chargeur).....	44
3.5.3.d Générateur support mode (Mode soutien du générateur).....	44

3.6 Batteries solaires.....	45
3.6.1 Les Protections déployées .....	45
3.7 Conclusion .....	46
<u>Chapitre 4 : Résultats et inteprétations</u> .....	48
4.1 Inroduction .....	48
4.2 Interaction logiciel MSVIEW –Regulateur TRISTAR .....	49
4.3 Observation du fonctionnement de la source PV .....	51
4.4 Observation de fonctionnement de chargeur de batteries .....	.53
4.5 Observation du fonctionnement de l’onduleur .....	...56
4.5 Conclusion .....	.59
Conclusion générale .....	60
Annexes .....	61
Référence bibliographique .....	

## Liste des figures

Figure (1.1)	Struc tructure de la production d'électricité mondiale 2012	04
Figure (1.2)	Les sources de la biomasse	05
Figure (1.3)	Les différents types de la géothermie	06
Figure (1.4)	Technologies d'éolienne	07
Figure (1.5)	carte des vents en algerie	08
Figure (1.6)	carte d'irradiation en algerie ( mois de juillet)	09
Figure (1.7)	Durée moyenne d'ensoleillement en algerie	10
Figure (1.8)	Energie moyenne reçue en algerie	10
Figure (1.9)	Courbes caractéristiques d'un module photovoltaïque	11
Figure (2.1)	Installation photovoltaïque autonome	13
Figure (2.2)	Structure d'une cellule photovoltaïque au Silicium	14
Figure (2.3)	Caractéristique I-V d'une cellule photovoltaïque	15
Figure(2.4)	Modèle équivalent électrique de la cellule photovoltaïque	17
Figure (2.5)	Composants d'un générateur photovoltaïque	17
Figure (2.6)	Exemple d'association sécurisée de deux modules	18
Figure (2.7)	Cellule électrochimique de base	19
Figure (2.8)	Courbes de charge et de décharge d'une cellule élémentaire de batterie au plomb[4]	20
Figure (2.9)	Différentes phases de charge de la batterie	23
Figure(2.10)	Le schéma de principe d'un régulateur	25
Figure(2.11)	Onduleur quasi- sinusoïdale	26
Figure(2.12)	Onduleur sinusoïdale	26
Figure(2.13)	Les différentes topologies des onduleurs multi niveaux	27
Figure(2.14)	Onduleur multi niveaux à diode de bouclage	27
Figure(2.15)	Onduleur multi niveaux à condensateur flottant	28
Figure(2.16)	Structure en phase d'un onduleur multi niveaux en cascade.	29
Figure(3.1)	Photo de l'installation PV utilisé	31
Figure(3.2)	schéma de raccordement d'un système PV autonome	32
Figure(3.3)	panneau solaire photovoltaïque	32
Figure(3.4)	Raccordement mixte	33
Figure(3.5)	Régulateur de charge TRISTAR	34
Figure(3.6)	Câblage de l'installation pour la charge solaire et pour le contrôle de l'appel de puissance	36
Figure(3-7)	DIP du régulateur TRISTAR en mode charge solaire de batterie	37
Figure(3.8)	Commutateur N <sup>0</sup> 2,3	37
Figure(3.9)	Commutateurs N <sup>0</sup> 4,5,6	38
Figure(3.10)	Commutateur N <sup>0</sup> 7	39
Figure(3.11)	Commutateur N <sup>0</sup> 8	39
Figure( 3.12)	Xantrax SW3048E	40
Figure( 3.13)	Schéma fonctionnel simplifié de l'onduleur série SW Trace™	42
Figure (3.14)	Onde Sinusoïdale de Sortie de l'Onduleur Série SW Trace™	42
Figure(3.15)	Courbes de Rendement Série SW Trace™	43
Figure(3.16)	Raccordements des batteries du montage utilisé	45
Figure(4.1)	Menu principale du logiciel MSVIEW	49
Figure(4.2)	Détection de l'équipement	50
Figure(4.3)	Détection réussi de l'équipement	50
Figure(4.4)	Choix des paramètres désirés	51
Figure(4.5)	Vue du champ photovoltaïque utilisé	51
Figure (4.6)	Caractéristique courant-tension pour différentes valeurs d'eclairgements	52

Figure(4.7)	Allure de la fonction : tension de la batterie	53
Figure(4.8)	Allure de la fonction : courant de charge	54
Figure(4.9)	Allure de la fonction : Tension des panneaux	54
Figure(4.10)	Disposition globale des fonctions (choisies)	55
Figure(4.11)	Visualisation de tous les états poursuivis par l'équipement	56
Figure(4.12)	Onde Sinusoïdale de Sortie de l'Onduleur Série SW Trace™	56
Figure(4.13)	Onduleur multi niveaux en H	57
Figure(4.14)	Onde de sortie obtenue à partir de 'n' pont en H	57

## Liste des symboles

GW	Gégawatt
MW	Mégawatt
°C	Degrés celsius
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
eV	Electon volte
PPM	points de puissance maximale
$V_{OC}$	tension de circuit ouvert
$I_{CC}$	courant de court-circuit
$E$	éclairage
$I_{SAT}$ (A)	courant de saturation en ampère
$V_T$ (V),	potentiel thermodynamique en volt
K (J.K <sup>-1</sup> )	constante de Boltzmann,
T (K)	la température effective de la cellule
e (C),	charge de l'électron, en coulomb
$I_{CELL}$ (A),	courant fourni par la cellule en ampère
$V_{CELL}$ (V)	la tension aux bornes de la cellule en volt
$R_P$ ( $\Omega$ )	la résistance de shunt caractérisant les courants de fuites de la jonction, en ohm
$R_S$ ( $\Omega$ ),	la résistance série représentant les diverses résistances des contacts et de connexions.
Ah	Ampère heure ,Capacité de la batterie
SOC	"State Of Charge", l'état de charge des batteries
$V_m$	Tension maximale
$I_m$	courant maximal
Wh/j).	Wattheure par jour
RTS	Sonde thermique à distance
MLI	modulation de largeur d'impulsions
PWM	Pulse With Modulation,

## INTRODUCTION GENERALE

Dans la dernière décennie, le recours aux énergies renouvelables n'est plus un choix de luxe mais une obligation inévitable suite aux effets polluants et spectaculaire des énergies fossiles et les accidents multiples due aux énergies fissiles.

Outres leurs biens faits écologiques, les énergies renouvelables : hydraulique, éolienne, géothermique, biomasse et solaire en particulier offrent plusieurs opportunités d'une électrification à des zones isolées telles que le sud algériens aussi vaste et loin des réseaux électriques et qu'il bénéficie d'un potentiel solaire important.

Plusieurs études relatives à ce thème ont été élaborées dans le but d'expliquer le mode d'exploitation de chacune de ces énergies ainsi que des réalisations selon des données spécifiques à une région quelconque, mais la potentialité de ce travail est de mettre l'accent sur chaque élément constituant le système d'alimentation autonome pour un site isolé ; commençant par les générateurs photovoltaïques jusqu'à la charges. Le fait que leurs exploitation évitent le problème de la pollution et donnent la résolution au problème crucial lié à la continuité de service ; de multiples réflexions sont actuellement menées sur cet aspect plus qu'encourageant.

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 est système de production de l'énergie électrique à partir de l'énergie photovoltaïque. La puissance totale installée est de l'ordre de 3kW et est doté d'un système de stockage chimique. Pour la poursuite on-line du flux d'énergie, un logiciel dédié a cet effet est utilisé. MSVIEW est destiné à poursuivre un grand nombre de variable 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 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 utilisé 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- 45, et enfin on expose l'autre élément du montage : Les batterie solaire autour duquel plusieurs recherches ont été menés depuis leurs invention, nous allons utilisé 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'interface MSVIEW.

*Chapitre 1 :*

*Les énergies renouvelables*

## 1.1 INTRODUCTION

La production d'énergie électrique utilise principalement des combustibles fossiles et fissiles (nucléaire). Un recours systématique aux carburants fossiles, tels que le pétrole, le charbon ou le gaz naturel, permet d'avoir de faibles coûts de production mais conduit à un dégagement massif de gaz polluant et de gaz à effet de serre.

Néanmoins l'avenir n'est pas prometteur sur les ressources en énergies fossiles dont les réserves ne cessent de diminuer et dont les prix fluctuent énormément en fonction de certaines conjonctures. La résolution d'une telle problématique réside à l'exploitation des énergies renouvelables qui sont presque inépuisables. Elles dépendent d'éléments que la nature renouvelle en permanence : le vent, le soleil, l'eau, la chaleur de la Terre.

## 1.2 LES ENERGIES RENOUVELABLES :

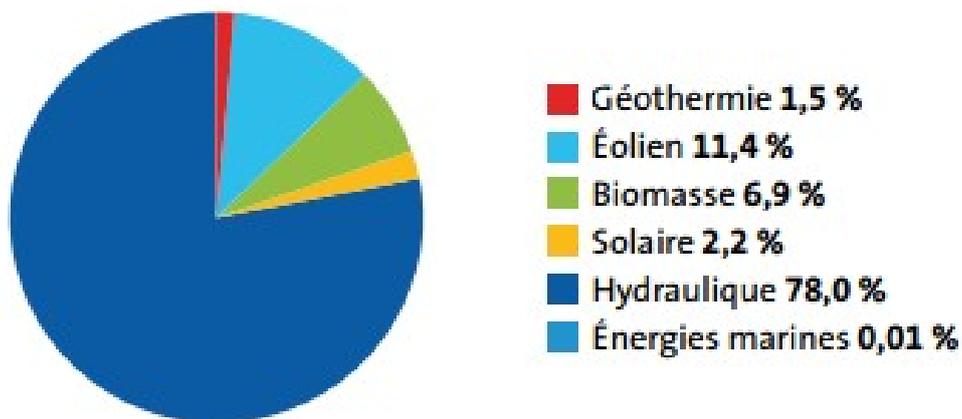
Le potentiel de l'énergie renouvelable en Algérie est le plus important d'Afrique du Nord. Le marché des énergies renouvelables est prometteur et leur promotion constitue l'un des axes de la politique énergétique et environnementale du pays [1].

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.

Il est intéressant de les mettre en œuvre sur les lieux de consommation en les transformant directement, soit en chaleur, soit en électricité, selon les besoins [1]. La production d'électricité décentralisée à partir d'énergies renouvelables offre une plus grande sûreté d'approvisionnement des consommateurs tout en respectant 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 (1.1) présente la production mondiale d'électricité en 2012 sur les énergies renouvelables [2].



**Figure 1.1 : Structure de la production d'électricité mondiale en 2012**

### 1.2.1 L'énergie hydraulique :

L'hydraulique est actuellement la première source renouvelable d'électricité. La puissance hydroélectrique installée dans le monde avant environs dix ans était estimée à 700 GW, soit environ 19% de la puissance électrique mondiale. Près de 15 % de toute l'électricité installée en Europe est d'origine hydraulique. On discerne la petite hydraulique (inférieure à 10 MW) et la grande hydraulique (supérieure à 10 MW). Dans le cadre de la production décentralisée, la petite hydraulique est prise en considération [1].

La petite hydraulique est constituée en grande majorité par des centrales au fil de l'eau ce qui les rend fortement dépendantes du débit des cours d'eau.

### 1.2.2 L'énergie de la biomasse :

La biomasse est répartie en quatre catégories : la biomasse sèche (bois, déchets agricoles...), le biogaz, les déchets municipaux renouvelables solides et la biomasse humide (bioéthanol, biodiesel, huile végétal ...), figure (1.2) :



**Figure1.2 : 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.

### 1.2.3 L'énergie de la géothermie :

C'est une énergie renouvelable et écologique utilisant la chaleur naturelle de la croûte terrestre, la géothermie a de multiples utilisations du chauffage au refroidissement d'une habitation, jusqu'à la production d'électricité en fonction de la profondeur de l'exploitation. L'énergie produite par la géothermie dépend de la profondeur du sol exploité. Plus elle est faible, moins sera la puissance de l'énergie géothermique. Ainsi, son utilisation dépend du besoin de chacun en fonction de son habitation. Voici les différents types de géothermie, figure (1.3) :

#### 1.2.3.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.

### 1.2.3.b La géothermie basse énergie :

Également appelée basse enthalpie ou basse température, la géothermie basse énergie ou à usage 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.

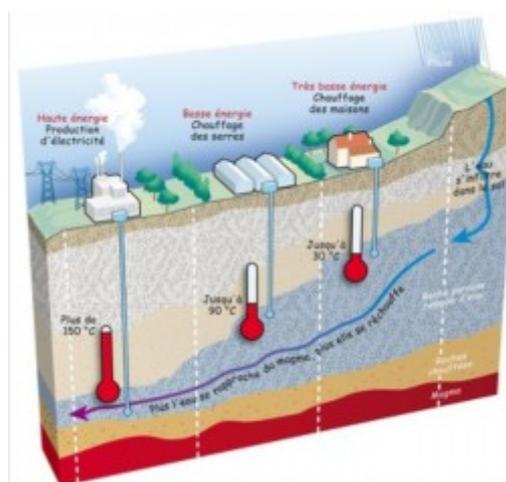


Figure (1.3) Les différents types de la géothermie

### 1.2.4 L'énergie éolienne :

La ressource éolienne provient du déplacement des masses d'air qui est dû indirectement à l'ensoleillement de la terre. Par le réchauffement de certaines zones de la planète et le refroidissement d'autres, une différence de pression est créée et les masses d'air sont en perpétuel déplacement. Après avoir pendant longtemps oublié cette énergie pourtant exploitée depuis l'antiquité, elle connaît depuis environ 30 ans un essor sans précédent notamment dû aux premiers chocs pétroliers. Dans l'échelle mondiale, l'énergie éolienne depuis une dizaine d'années maintient une croissance de 30% par an[8]. Selon le Global Wind Energy Council (GWEC), le parc éolien pourrait atteindre une puissance installée de 230 GW en 2020 [9], Le principal inconvénient de cette source d'énergie est l'indisponibilité et l'imprévisibilité du vent.

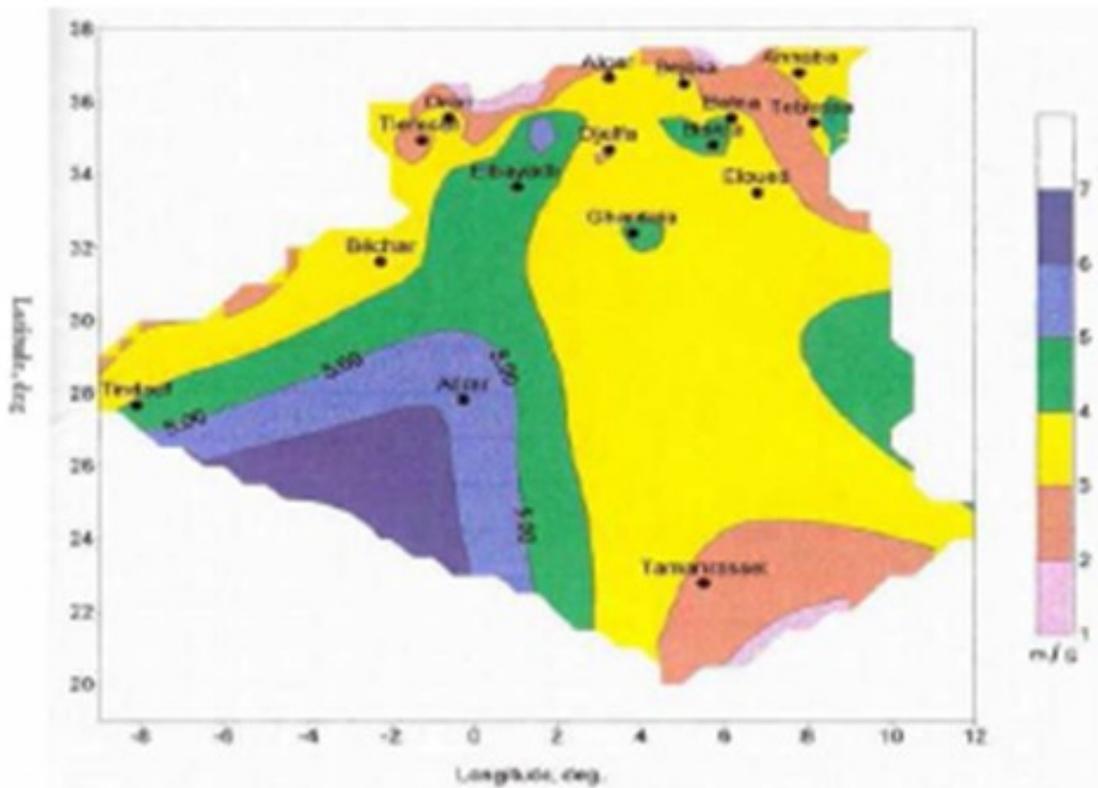
Il ya lieu de noter qu'il existe deux grandes catégories d'éoliennes selon la disposition géométrique de l'arbre sur lequel est montée l'hélice, figure (1.4) :

- les turbines éoliennes à axe horizontal
- les turbines éoliennes à axe vertical



**Figure 1.4 : Technologies d'éolienne**

En Algérie, le potentiel éolien varie selon la situation géographique[10]. Ainsi au nord du pays, le potentiel éolien se caractérise par une vitesse moyenne des vents modérée (1 à 4m/s) alors qu'au Sud du pays et à Biskra, la vitesse moyenne des vents dépasse les 4m/s, plus particulièrement au sud-ouest, avec des vents qui dépassent les 6m/s dans la région d'Adrar, figure (1.5) :



**Figure 1.5** carte des vents en Algérie

### 1.2.5 L'énergie solaire :

Le soleil est une source quasiment inépuisable d'énergie qui envoie à la surface de la terre un rayonnement qui représente chaque année environ 8400 fois la consommation énergétique de l'humanité. Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré (kWc/m<sup>2</sup>) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge. Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que n'en consomme l'humanité en une année [1]. L'énergie solaire est utilisée en tant que :

- Energie solaire thermique; production d'eau chaude
- Energie solaire photovoltaïque; production de l'électricité

Par sa situation privilégiée, l'Algérie dispose du plus grand gisement solaire du bassin méditerranéen et par conséquent d'un potentiel solaire important, figure (1.6). La durée moyenne d'ensoleillement du territoire algérien dépasse les 2000 heures annuelles, pour atteindre près de 3500 heures d'ensoleillement dans le désert du Sahara. Le total d'énergie reçue est estimé à 169 400 TWh/an, soit 5000 fois la consommation d'électricité annuelle du pays, figure(1.7) et figure (1.8).

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Durée moyenne d'ensoleillement (heure/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m <sup>2</sup> /an)	1700	1900	2650

Tableau (1.1) : Durée d'ensoleillement et énergie moyenne reçue par région

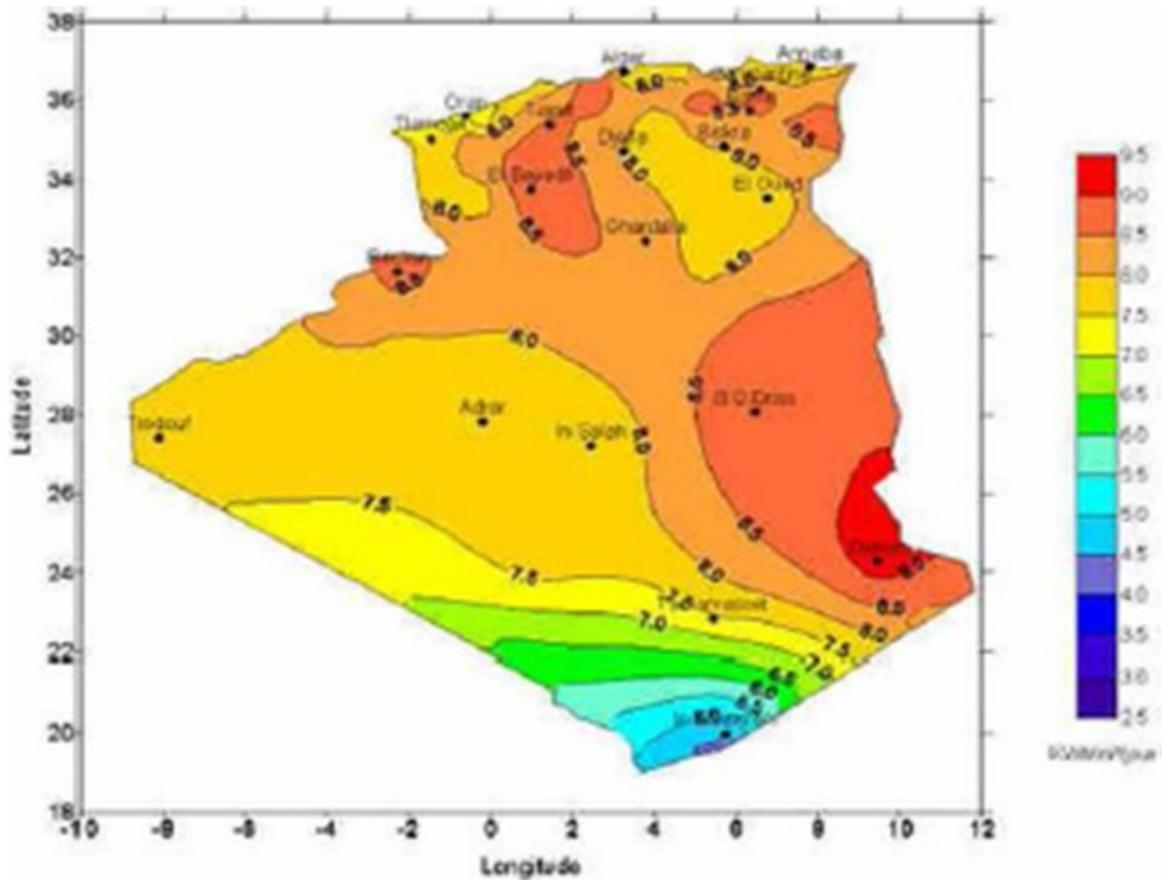


Figure (1.6) : carte d'irradiation en algérie ( mois de juillet)

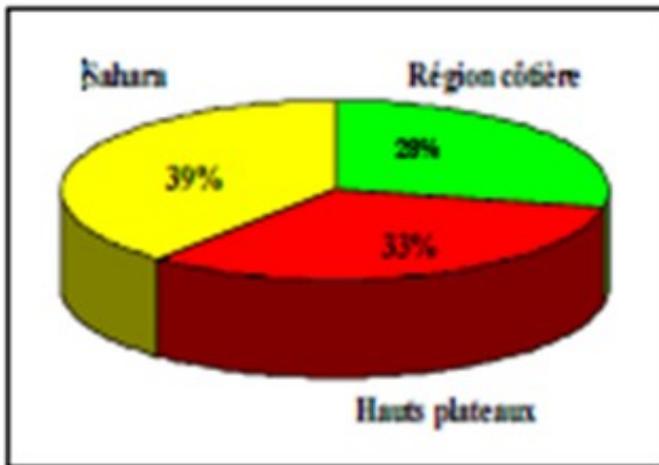


Figure (1.7) : Durée moyenne d'ensoleillement  
Algerie

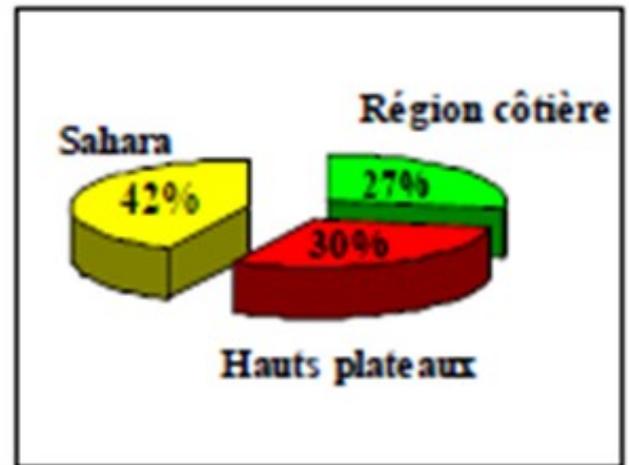


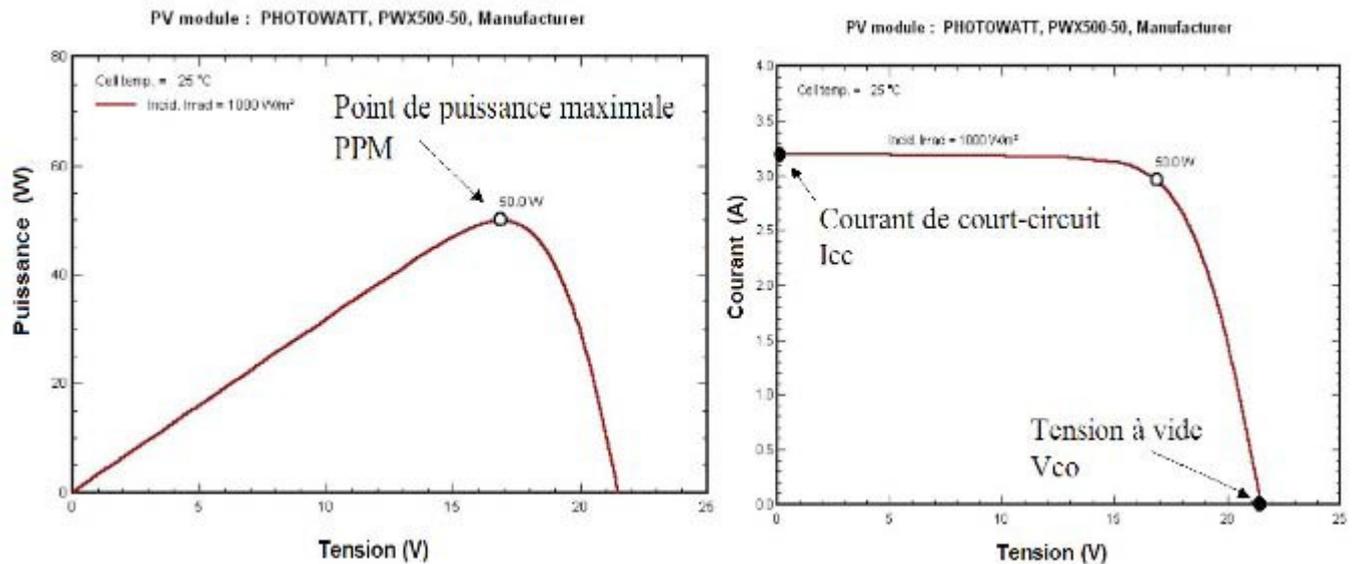
Figure (1.8):Energie moyenne reçue en  
Algerie

### 1.3 La CONVERSION PHOTOVOLTAÏQUE :

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière [3]

La tension générée peut varier en fonction du matériau utilisé pour la fabrication de la cellule. L'association de plusieurs cellules PV en série/parallèle donne lieu à un générateur photovoltaïque (GPV) qui a une caractéristique courant-tension (I-V) non linéaire présentant un point de puissance maximale. La caractéristique (I-V) du GPV dépend du niveau d'éclairement et de la température de la cellule ainsi que du vieillissement de l'ensemble. De plus, le point de fonctionnement du GPV dépend directement de la charge qu'il alimente.

Un générateur PV (ensemble de modules PV) a une courbe caractéristique IV non linéaire (figure 1-9) [16]. Pour un éclairement et une température donnés, la tension en circuit ouvert ou à forte charge est à peu près constante (assimilable à une source de tension), tandis qu'en court-circuit ou à faible charge le courant est pratiquement constant (source de courant). Le générateur n'est alors ni vraiment une source de tension ni vraiment une source de courant non plus. La tension de circuit ouvert est sensible à la température et diminue quand la température augmente. Le courant de court-circuit est quant à lui proportionnel à l'éclairement : augmente si l'éclairement augmente.



**Figure 1.9 : Courbes caractéristiques d'un module photovoltaïque**

Le meilleur point de fonctionnement du système correspond au point de cette courbe où la puissance, produit de la tension et du courant, est maximisée. Il se situe au milieu de la caractéristique. Tel qu'il est présenté sur la figure (1-9).

En régime permanent établi, la tension et le courant du capteur sont considérés comme constants. L'utilisation d'un onduleur de tension plutôt qu'un onduleur de courant est alors essentiellement motivée par des raisons technologiques.

### 1.3.1 Type de systèmes photovoltaïques :

Les systèmes PV sont deux types : autonomes et reliés au réseau :

#### 1.3.1.a Systèmes autonomes :

C'est un système photovoltaïque qui alimente l'utilisateur en électricité et qui est complètement indépendant d'autre source d'énergie. Dans la majorité des cas, un système autonome exigera des batteries pour stocker l'énergie. Ils servent habituellement à alimenter les maisons en site isolé, sur des îles, en montagne ainsi qu'à des applications comme la surveillance à distance et le pompage de l'eau. En règle générale, les systèmes PV autonomes sont installés là où ils constituent la source d'énergie électrique la plus économique.

#### 1.3.1.b Systèmes photovoltaïques connectés au réseau :

Le champ photovoltaïque est couplé directement au réseau électrique à l'aide d'un convertisseur courant continu- courant alternatif (CC-CA). Etant donnée que l'énergie est normalement emmagasinée dans le réseau même, les accumulateurs sont nécessaire dans le cas d'avoir une autonomie d'énergie pendant les pannes d'électricité.

L'énergie produite est consommée sur place le surplus étant injecté dans le réseau, qui alimente les maisons de nuit ou pendant les jours sans soleil.

### 1.3.2 Avantages et inconvénients d'une installation PV :

#### 1.3.2.a Avantages :

- Haute fiabilité.
- Le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milli-Watt au Méga-Watt.
- le coût 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.

#### 1-3.2.b Inconvénients :

- 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 aux générateurs diesel que pour les faibles demandes d'énergie en régions isolées.
- le faible rendement des panneaux photovoltaïques s'explique par le fonctionnement même des cellules. Pour arriver à déplacer un électron, il faut que l'énergie du rayonnement soit au moins égale à 1 eV. Tous les rayons incidents ayant une énergie plus faible ne seront donc pas transformés en électricité. De même, les rayons lumineux dont l'énergie est supérieure à 1 eV perdront cette énergie, le reste sera dissipé sous forme de chaleur.
- tributaire des conditions météorologiques.
- lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est accru.
- le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes.

### CONCLUSION

Il est évident que les énergies renouvelables sont inépuisables et contribuent d'une façon parfaite à la préservation d'un environnement loin d'être pollué. Dans le même contexte, l'utilisation des sources d'énergie renouvelables semble être aussi une solution adéquate au problème de réchauffement de la planète. En plus, encourager le développement de ces énergies, c'est parvenir à une indépendance énergétique qui ne peut être que positive à notre développement. Reste à mentionner que l'exploitation d'une énergie ou une autre repose sur la spécificité de la localité et le taux de son rendement qui est y rattaché.

# *Chapitre 2 :*

## *Systèmes photovoltaïque autonomes*

## 2.1 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.).

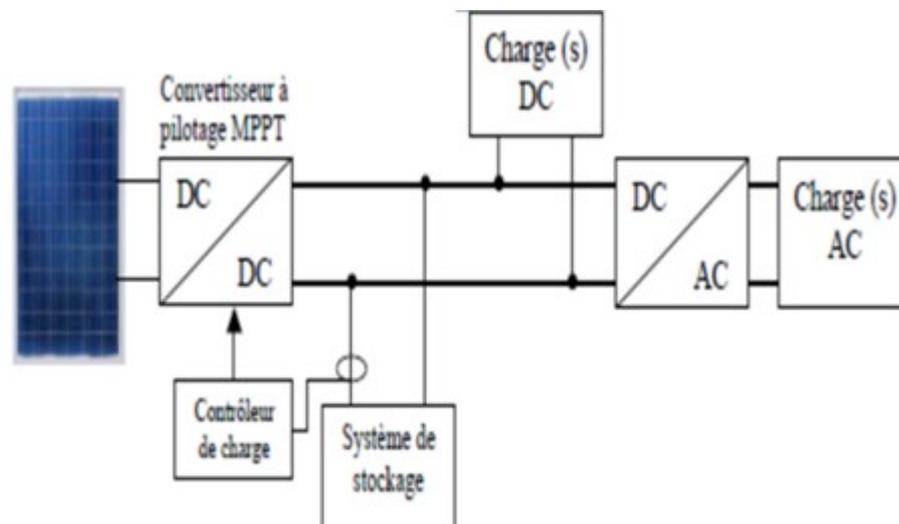
Pour une utilisation en courant continu, un régulateur électronique assure la charge d'une batterie d'accumulateurs (généralement en 12 V pour les petites installations). Il permet d'arrêter la charge des batteries lorsque celles-ci sont complètement chargées et de couper le courant dans le circuit de 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 figure2-1 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 2.1 : Installation photovoltaïque autonome**

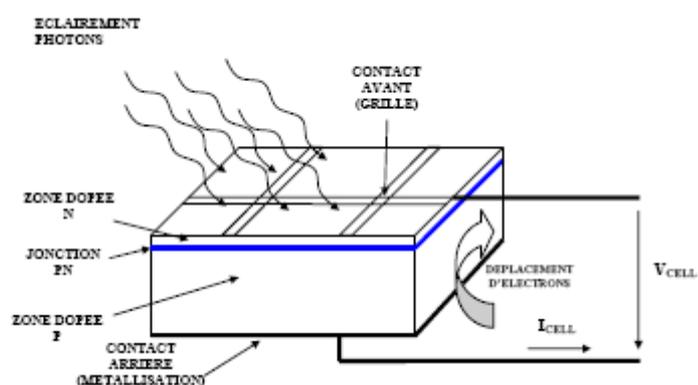
## 2.2 LE GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE :

La conversion de la lumière en électricité, appelée effet photovoltaïque, a été découverte par E. Becquerel en 1839. Cette conversion d'énergie peut s'effectuer par le biais d'un capteur constitué de matériaux sensibles à l'énergie contenue dans les photons. Ce capteur se présente à l'échelle élémentaire sous forme d'une cellule nommée cellule photovoltaïque (PV).

L'association possible de plusieurs cellules PV en série/parallèle permet d'adapter théoriquement la production d'énergie photovoltaïque à la demande. Ces associations constituent un générateur photovoltaïque (GPV) avec des caractéristiques courant-tension  $I(V)$  spécifiques, non-linéaires et présentant des points de puissance maximale (PPM) dépendant du niveau d'éclairement, de la température de la cellule ainsi que du vieillissement de l'ensemble. La quantité importante de l'énergie disponible sur toute la surface terrestre, arrive à la surface du sol. On peut ainsi compter sur 1000 W/m<sup>2</sup> dans les zones tempérées et jusqu'à 1400 W/m<sup>2</sup> lorsque l'atmosphère est faiblement polluée en poussière ou en eau. Le flux solaire reçu au niveau du sol terrestre dépend de plusieurs paramètres comme :

- l'orientation, la nature et l'inclinaison de la surface terrestre,
- la latitude du lieu de collecte, de son degré de pollution ainsi que de son altitude,
- la période de l'année,
- l'instant considéré dans la journée,
- la nature des couches nuageuses.

### 2.2.1 Principe d'une cellule photovoltaïque :



**Figure 2-2 Structure d'une cellule photovoltaïque en Silicium**

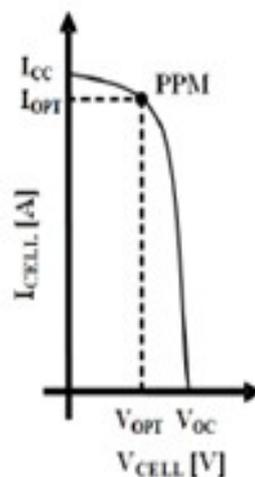
Comparable à une diode utilisée classiquement en électronique, une cellule PV peut être réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée P (dopée au bore) et l'autre dopée N (dopée au phosphore) Fig (2-2).

Entre les deux zones se développent une jonction PN avec une barrière de potentiel. La zone N est couverte par une grille métallique qui sert de cathode (contact avant) et surtout de collecteurs d'électrons, tandis qu'une plaque métallique (contact arrière) recouvre l'autre face du cristal et joue le rôle d'anode.

Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux électrons par collision. Si l'énergie transmise est supérieure à celle associée à la bande interdite ( $E_g$ ) du semi-conducteur, des paires électrons-trous sont alors créés dans cette zone de déplétion par arrachement des électrons.

Sous l'effet d'un champ électrique  $E_r$  qui règne dans cette zone, ces porteurs libres sont drainés vers les contacts métalliques des régions P et N. Il en résulte alors un courant électrique dans la cellule PV et une différence de potentiel (de 0.6 à 0.8 Volt) supportée entre les électrodes métalliques de la cellule, communément nommée tension de circuit ouvert ( $V_{OC}$ ) fortement dépendante de la température. Le courant maximal PV se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées. On parle alors de courant de court-circuit ( $I_{CC}$ ) dépendant fortement du niveau d'éclairement ( $E$ ).

La figure (2.3) illustre la caractéristique non linéaire  $I(V)$  d'une cellule PV à base de silicium pour un claiement et une température donnée, avec la présence d'un point de puissance maximal (PPM) caractérisé par sa tension et son courant optimaux ( $V_{OPT}$  et  $I_{OPT}$ ). D'autres matériaux peuvent être utilisés pour réaliser les capteurs PV[2].



**Figure 2.3 Caractéristique I-V d'une cellule photovoltaïque**

En résumé, technologiquement, un capteur PV est proche d'une diode PN de par sa constitution, les matériaux utilisés, et les phénomènes physiques identiques mis en œuvre.

Le comportement d'une cellule PV peut donc se modéliser comme celui d'une mauvaise jonction PN autant en statique qu'en dynamique lorsque cette dernière n'est pas éclairée. Pour tenir compte du courant engendré par l'éclairage de la cellule et des différentes résistances modélisant les pertes dues à la connectique, trois termes sont ajoutés  $I_{CC}$ ,  $R_S$  et  $R_P$ . Ainsi, en statique, le comportement d'une cellule PV constituée d'une jonction PN à base de silicium peut être décrit par l'équation suivante [2] :

$$I_{CELL} = I_{CC} - I_{SAT} \left[ \exp \left[ \frac{(V_{CELL} + I_{CELL} R_S)}{n V_T} \right] - 1 \right] - (V_{CELL} + I_{CELL} R_S) / R_P \quad (2.1)$$

$$\text{Où } V_T = KT/e \quad (2.2)$$

avec

$I_{SAT}$  (A) correspondant au courant de saturation,

$V_T$  (V), le potentiel thermodynamique,

$K$  ( $J.K^{-1}$ ), la constante de Boltzmann,

$T$  (K), la température effective de la cellule,

$e$  (C), la charge de l'électron,

$n$ , un facteur de non idéalité de la jonction,

$I_{CELL}$  (A), le courant fourni par la cellule,

$V_{CELL}$  (V), la tension aux bornes de la cellule,

$I_{CC}$  (A), le courant de court-circuit de la cellule dépendant de l'ensoleillement et de la température,

$R_P$  ( $\Omega$ ), la résistance de shunt caractérisant les courants de fuites de la jonction,

$R_S$  ( $\Omega$ ), la résistance série représentant les diverses résistances des contacts et de connexions.

La figure (2-4) illustre un schéma équivalent électrique représentant le comportement statique d'une cellule PV réelle. Ce modèle très simplifié nous permet de modéliser le comportement d'une source d'énergie électrique provenant de capteurs PV. Ainsi, comme illustré sur la figure 2.3, la cellule peut être assimilée à une source de tension, à droite du PPM, plus ou moins parfaite en fonction de la pente  $dI/dV$  proche de la verticale et à une source de courant à gauche du PPM. Pour la mise au point des commandes MPPT appropriées, cette commande (MPPT) est utilisée. Pour surmonter le problème de rendement des panneaux solaires et obtenir un rendement maximum, il est nécessaire d'optimiser la conception de toutes les parties du système PV.

En outre, il est nécessaire d'optimiser les convertisseurs (continu/continu) DC/DC employés comme interface entre le générateur PV et la charge afin d'extraire le maximum de puissance et ainsi faire fonctionner le générateur GPV figure (2.5) [3] à son point de puissance

maximum (MPP) à l'aide d'un contrôleur MPPT « maximum power point tracking» (dont Les premières utilisations de MPPT remontent à 1968), par conséquence, obtenir un courant électrique maximum sous la variation de la charge et des conditions atmosphériques (luminosité et température).

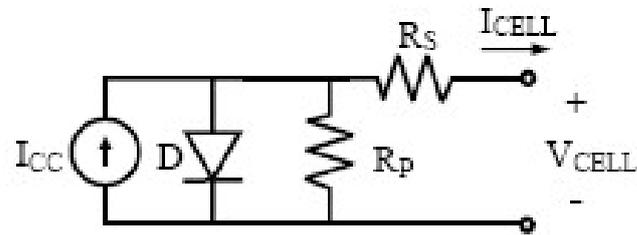


Figure 2-4 : Modèle équivalent électrique de la cellule photovoltaïque

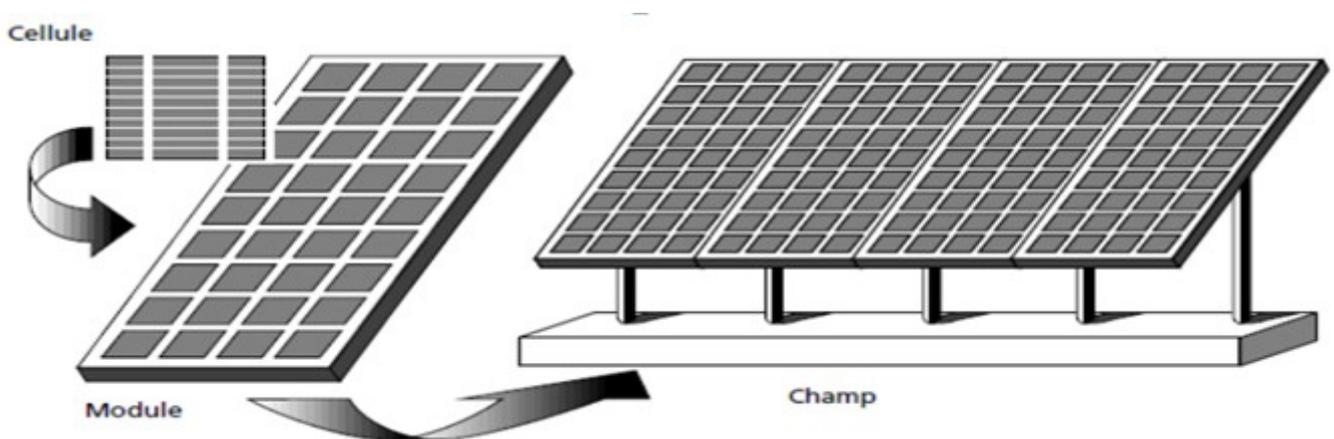
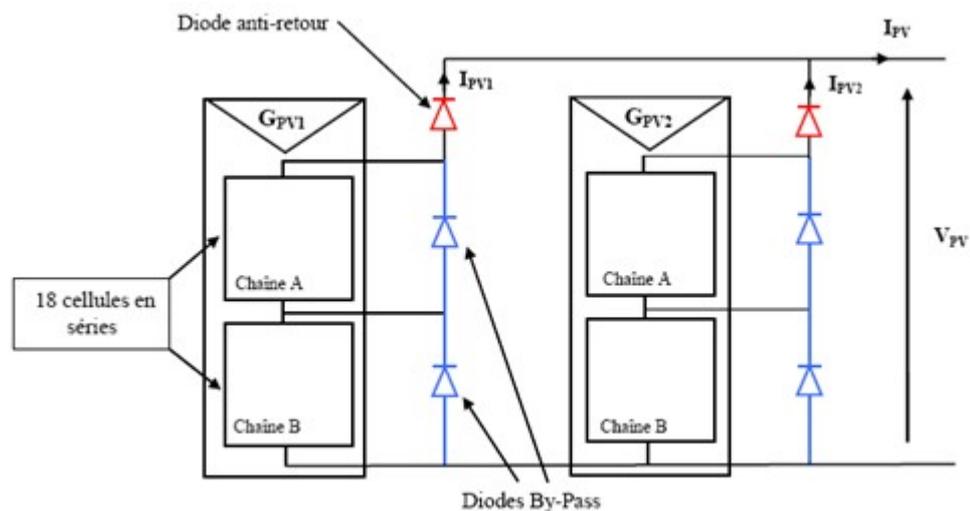


Figure (2.5) : Composants d'un générateur photovoltaïque

### 2.2.2 Protections classiques d'un GPV :

Pour garantir une durée de vie importante d'une installation photovoltaïque destinée à produire de l'énergie électrique sur des années, des protections électriques doivent être ajoutées aux modules commerciaux afin d'éviter des pannes destructrices liées à l'association de cellules en séries et de panneaux en parallèles. Pour cela, deux types de protections classiques sont utilisés dans les installations actuelles figure (2.6) :



**Figure (2.6) : Exemple d'association sécurisée de deux modules commerciaux en parallèles avec leurs diodes de protections**

la diode anti-retour empêchant un courant négatif dans les GPV. Ce phénomène peut apparaître lorsque plusieurs modules sont connectés en parallèle, ou bien quand une charge en connexion directe peut basculer du mode récepteur au mode générateur, par exemple une batterie durant la nuit.

- les diodes by-pass peuvent isoler un sous-réseau de cellules lorsque l'éclairement n'est pas homogène évitant ainsi l'apparition de points chauds et la destruction des cellules mal éclairées.

## 2.3 LES BATTERIES :

### 2.3.1 Généralités :

Toute batterie (accumulateurs) est un ensemble de cellules électrochimiques capables de stocker de l'énergie électrique sous forme chimique, puis de la restituer partiellement par la suite grâce à la réversibilité des réactions mises en jeu. Ces réactions consistent en des oxydations et des réductions (oxydoréductions en abrégé, soit perte ou gain d'un ou plusieurs électrons) au niveau des électrodes, le courant circulant sous forme d'ions dans l'électrolyte et sous forme d'électrons dans le circuit raccordé à la batterie. Ces dernières sont disponibles en différentes dimensions, types, ampères heure, tension et composantes chimiques. Il est important de choisir la bonne batterie au moment de constituer le banc de batteries en fonction des besoins appropriés.

### 2.3.2 Choix du type de batterie :

Il y a deux principaux types de batteries: de lancement et de cycle profond (avec plusieurs types de compositions). Les batteries peuvent être scellées ou non scellées (aérées). Les types de batterie recommandés pour un système avec onduleur sont : Acide-plomb à électrolyte liquide (FLA), Cellules Gel scellées (GEL), Fibre de verre absorbée scellée (AGM); et alcaline type Nickel fer (NiFe) et Nickel-Cadmium (NiCad).

Il ya lieu de noter l'interdiction de l'utilisation des batteries automotrices (de démarrage) car elles sont conçues pour fournir des courants très élevés pendant des périodes de temps courtes.

#### 2.3.2.a Composition d'une batterie solaire plomb- Acide :

Ces batteries sont composées de plusieurs plaques de plomb dans une solution d'acide sulfurique. La plaque consiste en une grille d'alliage de Plomb avec une pâte d'oxyde de plomb marquetée sur la grille. La solution acide sulfurique et l'eau est appelée électrolyte. Le schéma de principe figure (2.7) d'une cellule électrochimique est le suivant[4]:

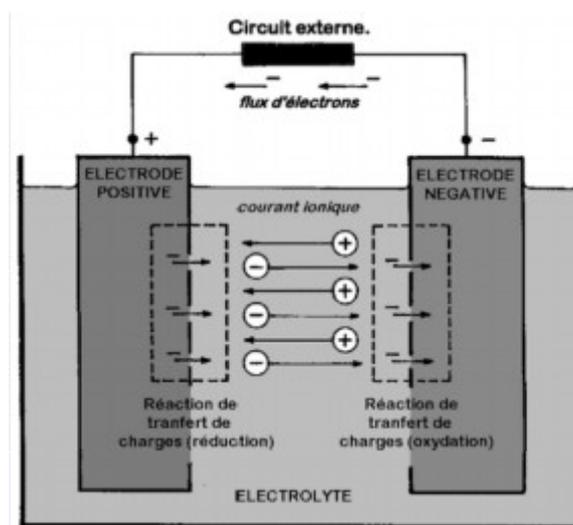
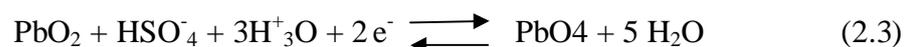


Figure (2.7) : Cellule électrochimique de base

Les réactions de charge/décharge aux électrodes sont les suivantes :

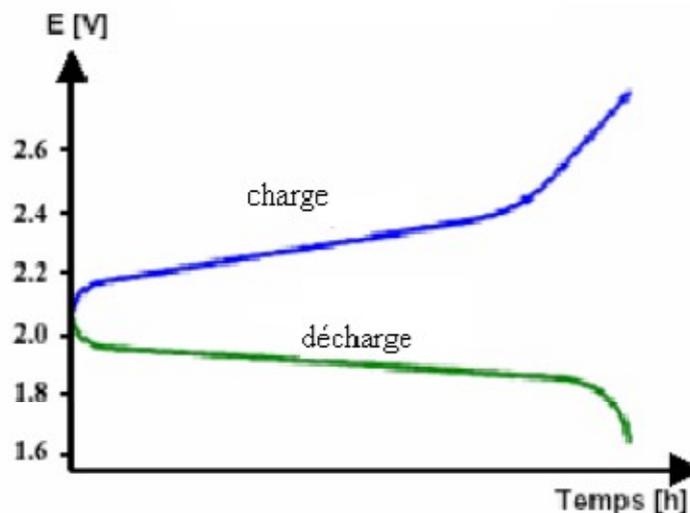
A l'électrode positive :



A l'électrode négative :



Typiquement, la tension de cellule évolue en charge figure (2.8) et en décharge de la manière suivante:



**Figure 2.8 : Courbes de charge et de décharge d'une cellule élémentaire de batterie au plomb**

### 2.3.2.b Les caractéristiques d'une batterie au plomb :

- **La tension :**

La tension nominale d'un élément au plomb est de 2V, et varie en fonction de l'état de charge. Un élément chargé présente une tension de 2,1V et peut être déchargé jusqu'à une tension de 1,9V sans risque, le minimum absolu étant fixé à 1,65V [4]. Une batterie est constituée de plusieurs cellules reliés en série afin d'assurer un niveau de tension convenable aux applications électriques.

- **La capacité :**

La capacité des batteries au Plomb peut aller de 1Ah à plus de 1000 Ah pour les batteries à électrolyte stabilisé et de 2Ah jusqu'à 4000Ah pour les batteries à électrolyte liquide.

- **La résistance interne :**

La résistance des accumulateurs au plomb est négligeable dans le cas des fortes capacités. Ces derniers sont capables de fournir des courants très importants >2000A sous 12V. Ce sont presque des générateurs parfaits d'où leur résistance interne très faible (inférieure au milli Ohms).

- **L'autonomie :**

C'est la durée pendant laquelle le récepteur reste correctement alimenté par la batterie. Elle dépend de la capacité de l'accumulateur et de l'énergie requise par le récepteur, indépendamment du photogénérateur [2].

### **2.3.2.c Batteries scellées (GEL et AGM) :**

Les batteries gel et AGM sont en fait des batteries sans entretien, ce qui les rend idéales pour des applications avec onduleur. Du moment où les batteries sont complètement scellées, elles peuvent être montées dans n'importe quelle position. Le seul inconvénient, par rapport aux batteries à électrolyte liquide, est le coût initial plus élevé et qu'elles sont plus exposées à des dégâts dus à des oscillations de la température pendant la charge. Les batteries d'acide-plomb, présentent une tension nominale de 2,0 volts par cellule (c.à d., 6 cellules pour un système à 12 volts, 12 cellules pour un système à 24 volts et 24 cellules pour un système à 48 volts).

Les batteries alcalines, ainsi que celles de type NiCad et NiFe, ont une tension nominale à la cellule de 1,2volts par cellule. Le nombre de cellules nécessaires dans un banc de batteries pour des batteries alcalines doit s'ajuster à un système à 12, 24 et 48 volts (c.à d., 10 cellules pour un système à 12 volts, 20 cellules pour un système à 24 volts et 40 cellules pour un système à 48 volts).

Les batteries alcalines nécessitent une tension de charge plus élevée pour se recharger complètement et passer à une tension inférieure pendant la décharge par rapport à une batterie de type acide-plomb de dimensions similaires. Une autre option pour des bancs de batteries alcalines à 24 volts (seulement) est d'utiliser seulement 19 cellules au lieu de 20. Ceci permet au chargeur de la batterie de travailler plus près des réglages utilisés pour des batteries d'acide-plomb. Cependant, la tension de la batterie baissera jusqu'à 18 volts lors de la décharge de la batterie.

Nous pouvons aussi trouver d'autre type de batterie tel que les celles Nickel Métal Hydrures (NiMH) qui sont dérivés des NiCd et ont été développés pour augmenter la capacité par unité de volume, favoriser les charges rapides, et éliminer le cadmium. Ils sont plus compacts que les NiCd.

Les avantages des batteries NiCd et NiMH pour le photovoltaïque sont : de petites capacités disponibles sous de multiples formes de 30 à 2000 Ah, leur compacité, une excellente tenue à la chaleur, une gamme de tensions disponible plus grande du fait de la valeur de 1,2V par élément. Cependant, ils présentent des inconvénients comme l'autodécharge, une charge difficile pour les NiMH à moins de 0°C.

### 2.3.3 Charge de batterie :

La durée de vie des batteries dépend fortement des cycles de charge subis, une charge insuffisante restant la principale cause de défaillance. De ce fait, la puissance du chargeur doit être adaptée à la capacité de la batterie utilisée et au temps de charge disponible. Une batterie déchargée totalement ou partiellement doit pouvoir être rechargée complètement durant le temps disponible. Pendant la charge, la tension des éléments va augmenter en fonction du courant de charge appliqué et de la température. Dans le cas d'une charge normale, la tension des éléments passe d'environ 2 Volts/élément à environ 2,65 Volts/élément. Les méthodes de charge utilisées sont :

- Charge normale : La charge normale sert à récupérer 100% de la capacité d'une batterie déchargée entièrement ou partiellement. En général, un courant de charge de 1/10 de la capacité est sélectionné. Il est important de réduire le courant de charge pendant le dégagement de gaz et de déconnecter le chargeur quand la batterie est pleine.
- Charge rapide : Dans ce cas, le courant de charge adopté peut être notablement supérieur à celui nominal (environ 3 à 5 fois) Pour empêcher la surcharge qui peut endommager de manière irréversible la batterie, il est nécessaire de basculer sur un courant de charge réduit lorsque la tension de dégazage (2,35 à 2,4 Volts/élément) est atteinte. la charge rapide reste de ce fait utilisée de manière exceptionnelle.
- Charge tampon : Dans ce cas, la batterie est connectée à la fois au consommateur et au chargeur. Ce dernier fournit un courant tel que la batterie reste pratiquement pleine. Celle-ci pouvant prendre en charge les pics de courant.
- Charge goutte à goutte : Lorsque la batterie est pleine, mais n'est pas utilisée à court terme, une autodécharge se produit. Celle-ci peut être de 0,015% à 0,03% par jour. Cette autodécharge est compensée par une charge goutte à goutte. Le courant de charge est dans ce cas d'environ 0,1 A par 100 Ah. Les batteries déchargées sont tout d'abord chargées (6 heures); une fois que la tension de dégazage (2,35 à 2,4 Volts/élément) est atteinte (état de charge 80%), le chargeur bascule automatiquement sur une charge tampon, d'entretien.
- Charge d'égalisation : Les batteries utilisées pour la traction sont soumises à des charges cycliques. Si celles-ci sont chargées à l'aide de chargeurs régulés, il est important pour les batteries à électrolyte liquide d'être rechargées entièrement au moins quatre fois par an avec un chargeur allant au-delà de la tension de dégazage. L'objectif de cette charge est de bien faire circuler l'acide dans la batterie.

En industrie et d'une façon standard Les batteries sont chargées idéalement en 3 différentes phases figure (2.9) :

- **Phase 1** : Le courant est limité à un taux d'environ 1/5 de la capacité nominale. La tension augmente jusqu'à atteindre son seuil maximum réglé à 2,35V/élément.
- **Phase 2** : La tension de charge est réglée à 2,35V/élément, le courant de charge diminue alors jusqu'à devenir inférieure à C/100. La batterie est chargée à l'issue de cette phase.
- **Phase 3** : Une fois la batterie chargée (après environ 20h de charge) on passe en mode charge d'entretien (Floating) pour la maintenir à 100% de charge. La tension appliquée alors à la batterie sera autour de 2,26V/élément.

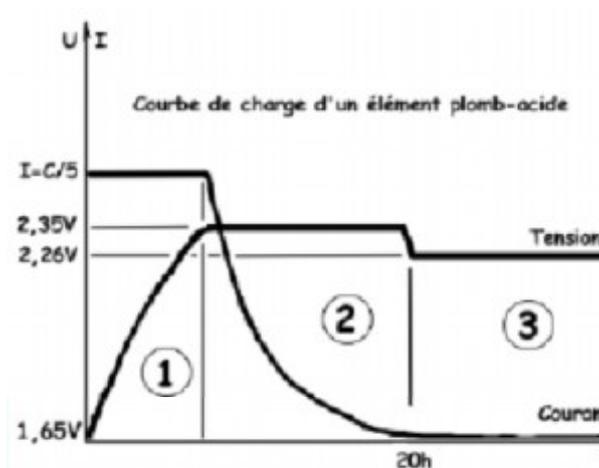


Figure 2.9 : Différentes phases de charge de la batterie .

#### 2.3.4 Risque de surcharge :

La surcharge immodérée est non seulement un gaspillage d'énergie mais elle peut également induire des dommages irréversibles de la batterie dont :

- La batterie n'est jamais bien chargée car le courant intense qui produit le bouillonnement n'est employé qu'à détruire l'eau de l'électrolyte et non à désulfater.
- Le niveau de l'électrolyte baisse rapidement. En effet un ampère-heure de surcharge détruit un tiers de gramme d'eau, avec un régime de surcharge double ou triple du régime normal le niveau du liquide baisse de plus d'un millimètre à l'heure ce qui fait qu'après dix heures de surcharge la partie supérieure des plaques commence à se découvrir et se désagrèger rapidement.
- La concentration de l'électrolyte augmente du fait de la disparition de l'eau. L'élévation de température qui résulte de la surcharge aggrave l'usure des plaques en augmentant la solubilité du sulfate de plomb. Le violent dégagement gazeux qui accompagne la surcharge accélère par effet mécanique la désagrégation des plaques.

Il ya lieu de noter que l'un des paramètres essentiel de base est la détermination de l'état de charge des batteries souvent noté SOC pour "State Of Charge", Il existe trois manières principales d'estimer l'état de charge d'une batterie :

- **méthodes physiques** : basées sur la mesure des changements physiques (concentration de l'électrolyte) prenant place dans la batterie durant la décharge ;
- **méthodes électriques** : basées sur la modification des paramètres électriques (tension, ...) de cellules ou de la batterie complète durant la décharge ;
- **méthodes de mesure d'impédance** : basées sur la superposition d'un signal alternatif par-dessus la composante continue afin d'avoir une estimation de l'état interne de la batterie.

## 2.4 LE REGULATEUR DE CHARGE DES BATTERIES :

Des différents systèmes électroniques sont utilisés pour protéger la batterie contre une charge trop élevée ou une décharge trop profonde.

- Une charge trop élevée entraînera une électrolyse de l'eau en hydrogène et oxygène, ce qui pourra éventuellement amener les plaques en contact avec l'air et provoquera un vieillissement prématuré de la batterie qui peut être causer par une décharge trop profonde : perte de capacité , une charge incomplète : perte de capacité , une Surcharge : gazage trop fort (perte d'eau), donc corrosion des plaques ou encor par un échauffement due par une charge et décharge rapides ( résistance interne  $P = R.I$  ). La formation d'hydrogène représente également un risque certain d'explosion dans un local peu ventilé.
- Une décharge profonde répétée provoque une sulfatation irréversible des plaques et, par conséquent, une diminution de la capacité de la batterie. Cette sulfatation peut également provoquer des courts circuits entre les plaques et rendre l'accumulateur inopérant. Le régulateur de charge dans un système photovoltaïque et le composant de jonction entre le générateur solaire, la batterie de stockage et les consommateurs intervenant dans le système. Il a pour rôle de protéger la batterie contre les surcharges et les décharges profondes et assure de ce fait et le mieux possible le bon fonctionnement de batterie ainsi que la gestion du système autonome solaire PV. Lors de l'achat de régulateurs de batteries, Les points suivants sont à observer :
  - Choix entre les régulateurs de type shunt ou série – Lorsque les batteries ont atteint leur pleine charge, le régulateur shunt intercepte le courant en provenance du champ et l'envoie directement à la terre (ou à une borne négative dans le cas d'un système sans mise à la terre), par l'intermédiaire d'une charge résistive. Le régulateur série ouvre le circuit électrique pour couper le courant en provenance du champ PV.
  - Capacité – La capacité correspond normalement à la limite supérieure de courant ; la plupart des régulateurs sont conçus pour une tension nominale fixe.

- Diode anti-retour intégrée – Le régulateur intègre souvent une diode anti-retour afin que la batterie ne se décharge pas dans le champ PV.
- Compensation thermique – Habituellement adaptée à un type d'accumulateurs précis (par exemple, au plomb-acide) pour une gamme de températures données.
- Capacité de charge d'égalisation ou d'entretien – Certains régulateurs permettent une surcharge de la batterie pendant une période prédéterminée afin d'égaliser la charge entre les cellules et de diminuer la stratification de l'électrolyte.
- L'ampèremètre et le voltmètre sont souvent intégrés dans le régulateur.
- Protection contre les surtensions dues à la foudre.
- Protection contre l'inversion de polarité – Cette caractéristique protège les circuits contre les dommages résultant d'une mauvaise connexion accidentelle.
- Distribution de charge – Cette caractéristique permet de mettre certaines charges en circuit ou de les délester, lorsque la tension du système est inférieure ou supérieure à des valeurs prédéterminées. Elle permet notamment le démarrage d'une génératrice et l'envoi d'un signal d'alarme lorsqu'une basse tension est détectée.

Elle peut aussi ajouter une charge fictive lorsque la tension est trop forte figure (2.10).

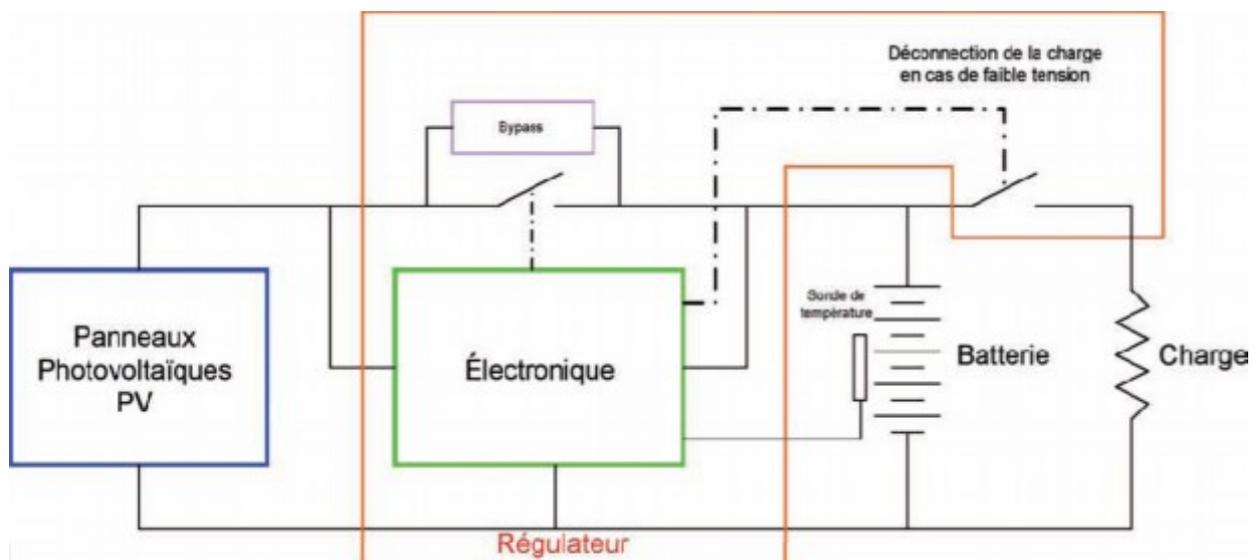


Figure 2.10 : Le schéma de principe d'un régulateur

## 2.5 L'ONDULEUR :

L'onduleur est un convertisseur continu alternatif qui transforme le 12 - 24 V continu en 230 V 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 [6] :

- 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 aspect ci-dessus dépend : du coût, fiabilité , performance ..etc.

Le signal de sortie obtenu d'un onduleur peut être quasi sinusoïdal fig (2.11) ou sinusoïdal fig (2.12) .

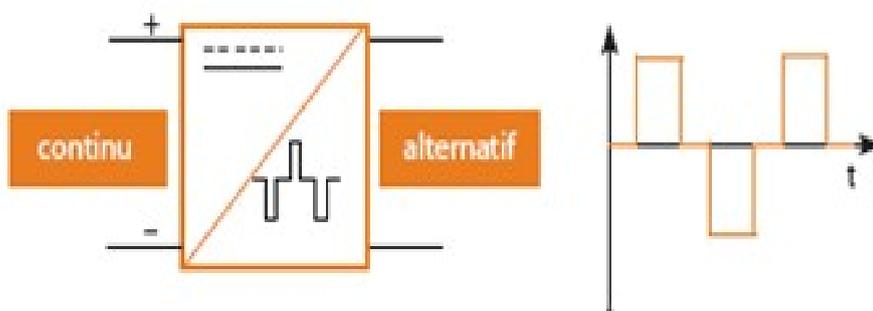


Figure 2.11 Onduleur quasi-sinusoidale



Figure2.12 Onduleur sinusoïdale

### 2.5.1 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 [5].

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[7], figure (2.13).

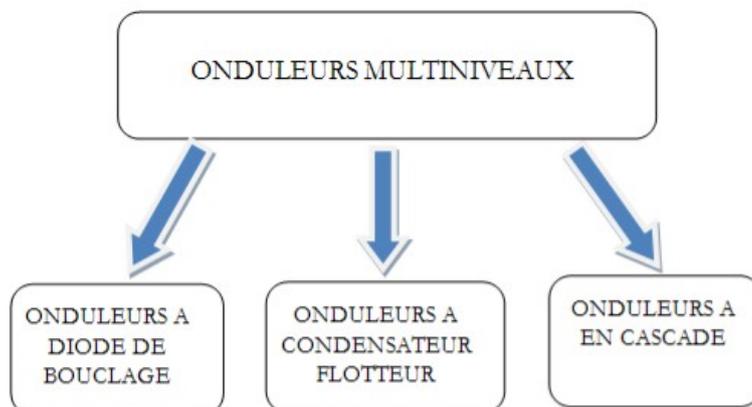
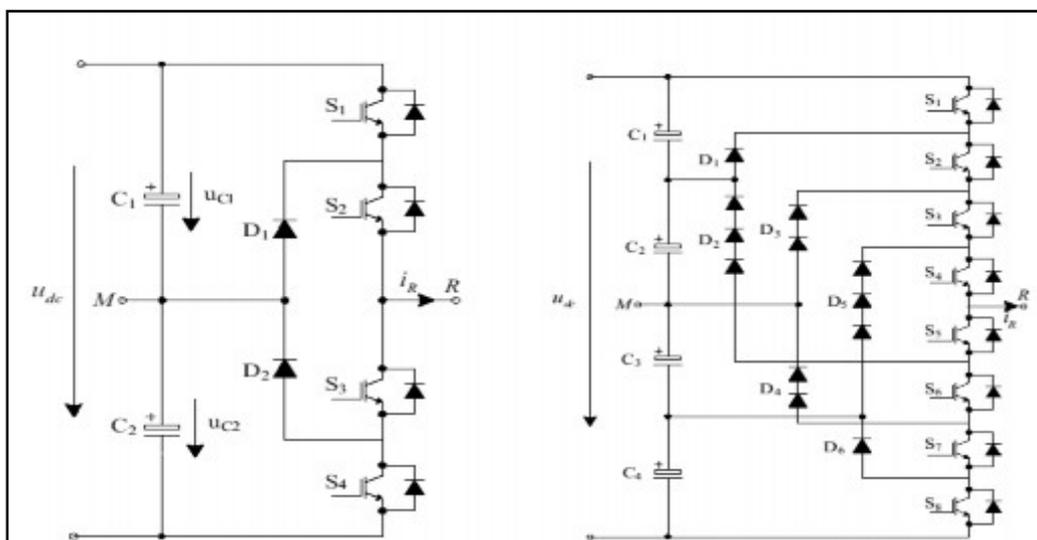


Figure 2.13 : Les différentes topologies des onduleurs multi niveaux

### 2.5.1-a 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( 2-14) suivante [7]:



a -NPC trois niveaux,

b-NPC cinq niveaux

Figure( 2.14) : Onduleur multi niveaux à diode de bouclage

Cette topologie NPC, présente plusieurs avantages dont :

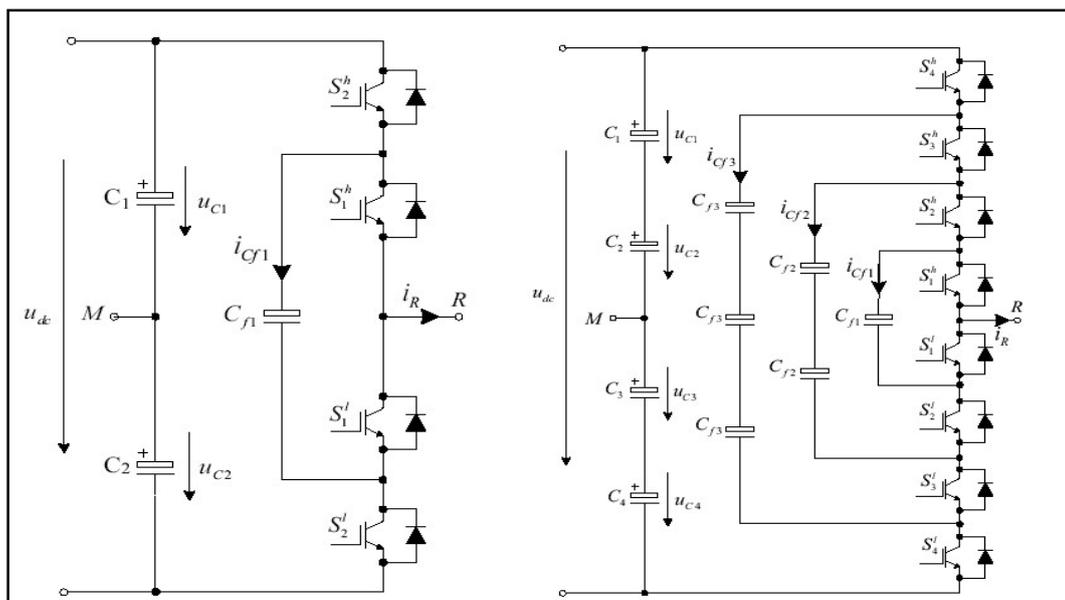
- cette topologie peut être généralisée et les principes employés dans la topologie d'onduleur à trois niveaux peuvent être étendus pour l'utilisation dans des topologies avec n'importe quel nombre de niveaux.
- Toutes les phases partagent le même bus DC.
- à haut rendement pour une fréquence de commutation 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.

**.2.5.1.b 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 (2.15). 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( 2.15) : 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.

### 2.5.1.c Structure des convertisseurs à alimentation séparée (en cascade) :

L'onduleur multi niveaux en cascade figure (2.16) 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  $V_{DC}$ . Les sorties de chaque onduleur, produit une onde de tension en courant alternatif [7].

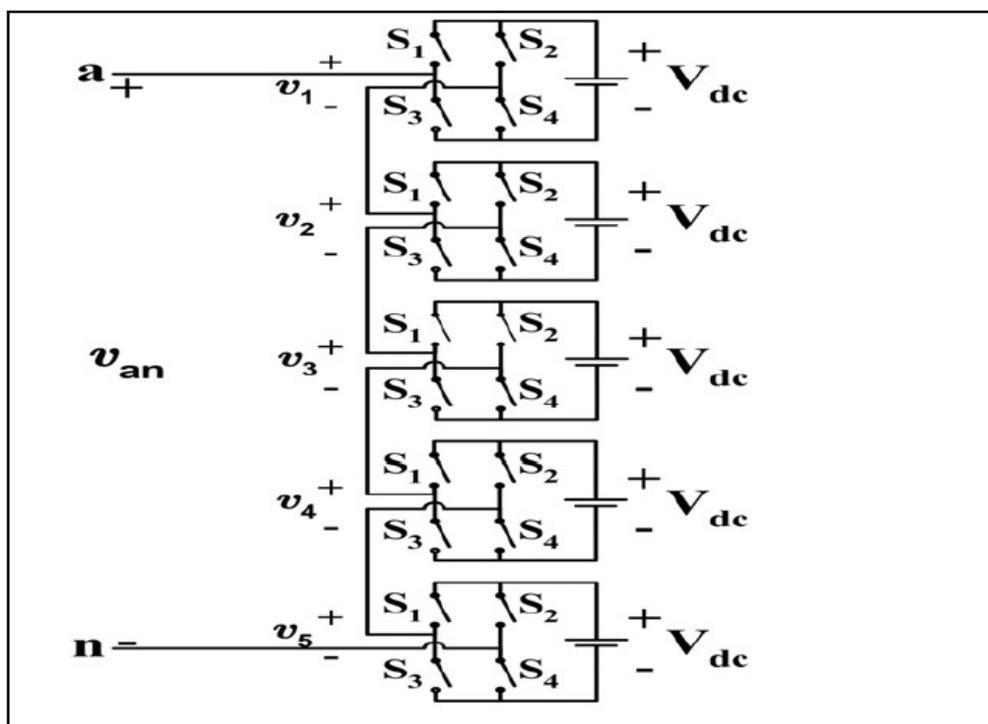


Figure 2.16: Structure en phase d'un onduleur multi niveau en cascade

- 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.

## CONCLUSION

La connaissance des généralités théoriques sur différents éléments d'une étude qui aboutit sur des tests expérimentaux tels est le cas traité dans ce chapitre, nous permet de converger vers des choix judicieux des éléments ayant des caractéristiques adéquats pouvant donner les améliorations souhaités pour chaque expérience menée.

Dans cette partie de notre travail, nous avons mis le point sur des rappels théoriques d'utilité majeur dans l'étude d'un tel sujet. C'étaient axés sur les générateurs photovoltaïques et leurs composantes, les différents types de batteries et les caractéristiques qui y sont liés à savoir les cycles de charge et décharge et le rôle des régulateurs dans un montage comportant des batteries .Ainsi que les différentes structures des onduleurs selon la structure de commutation de chacun.

*Chapitre 3 :*

*Le montage étudié*

### 3.1 INTRODUCTION

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 couteuse surtout pour un investissement à moyen et long termes. Tandis que la continuité de service repose sur [14] :

- 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.

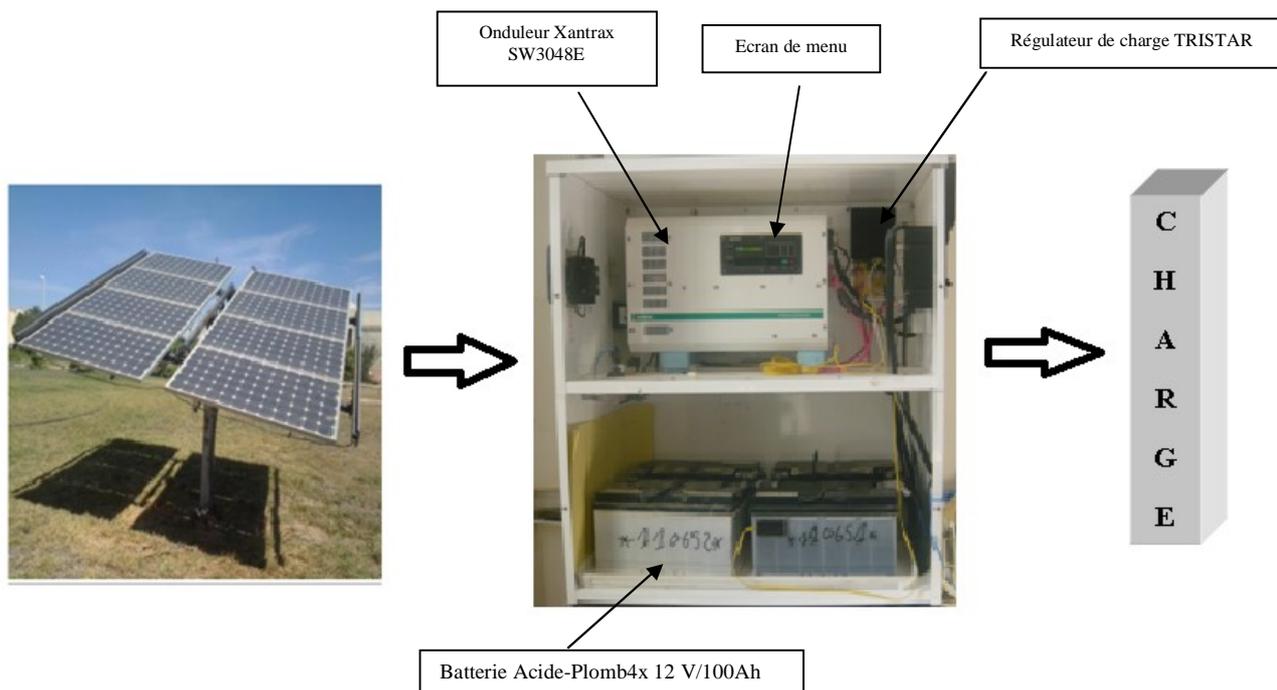


Figure (3.1) photo de l'installation PV utilisée

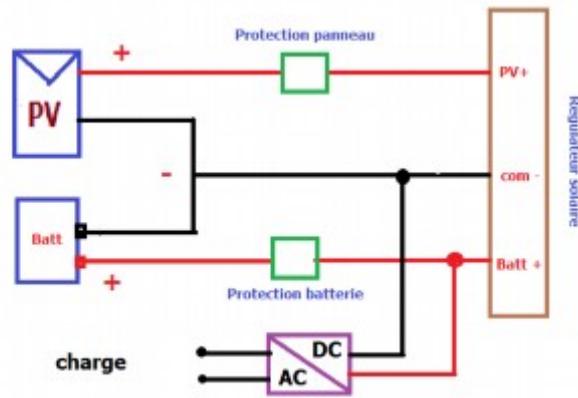


Figure (3.2) schéma de raccordement d'un système PV autonome

### 3.2 GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE:

#### 3.2.1 Description :

Un panneau solaire est choisi selon des caractéristiques [15]; dans le cas de notre montage, les caractéristiques enregistrées sont :



Figure 3.3 : panneau solaire photovoltaïque

- La puissance de crête,  $P_c$  (170 W) : Puissance électrique maximum que peut fournir le module Dans les conditions standards ( $25^\circ\text{C}$  et un éclairement de  $1000 \text{ W/m}^2$ ).
- Tension à vide,  $V_{CO}$ (43.8 V): Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclairement " plein soleil ".
- Courant de court-circuit,  $I_{cc}$ (5.14 A) : Courant débité par un module en court-circuit pour un Éclairement " plein soleil ".
- Point de fonctionnement optimum, ( $V_m, I_m$ ) : Lorsque la puissance de crête est maximum en plein soleil,  $P_m = V_m * I_m$  ; dans notre cas  $V_m = 35.2 \text{ V}$  et  $I_m = 4.83 \text{ A}$

- Rendement : Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente.
- Facteur de forme : Rapport entre la puissance optimale  $P_m$  et la puissance maximale que peut avoir la cellule :  $V_{co} * I_{cc}$ .
- La caractéristique I/V : Courbe représentant le courant I débité par le module en fonction de la tension aux bornes de celui-ci.
- La dimension / technologie du panneau, celui utilisé est de dimension = 1580x808x35 mm en cellules : mono-Si (panneau made in China)

### 3.2.2 Raccordement des panneaux solaire:

Notre montage étudié comporte 6 panneaux solaire montés comme indiqué sur la figure(3-4)[11]

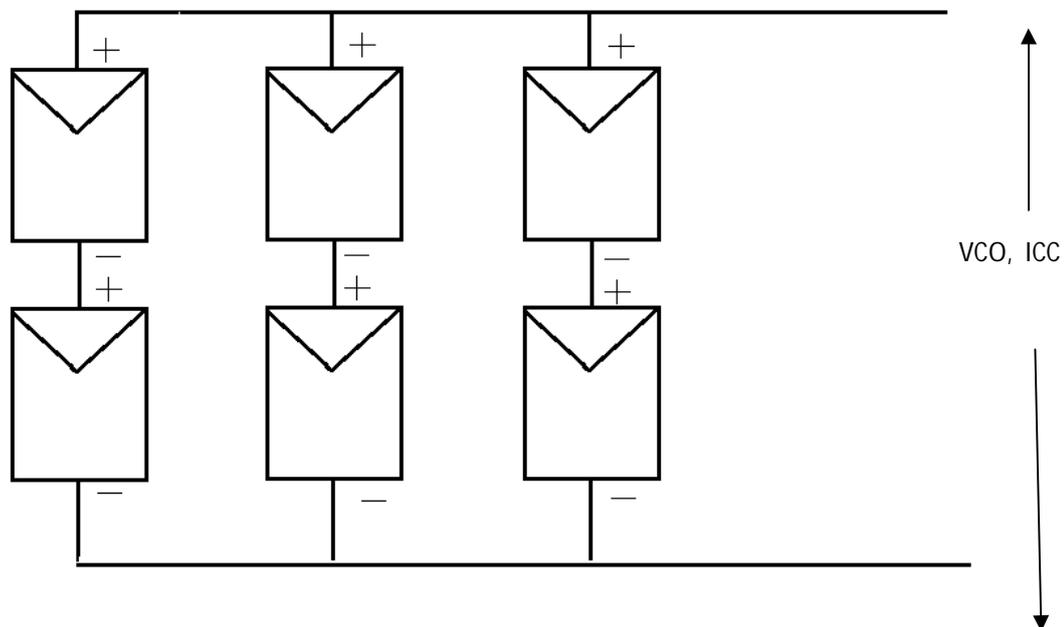


Figure 3.4 Raccordement mixte

### 3.2.3 Le branchement mixte :

Ce type de raccordement dit mixte, quand il est effectué. Les règles du montage en série et celles du montage en parallèle s'appliquent dans ce cas. Il convient d'avoir des panneaux de même tension et de même intensité, afin d'éviter des problèmes techniques. Pour chacun des cas de raccordement, une mise à la terre est nécessaire à confectionner.

Le principe fondamental à suivre est que le dimensionnement d'un système doit s'aborder sous deux angles. Celui du champ photovoltaïque en nombre de panneaux, et celui du parc de stockage, en nombre de batteries et ses options de raccordement pour jouer sur sa puissance. Ces angles font respectivement appel à la considération de divers paramètres (conditions d'ensoleillement, durée et puissance consommée voulues) et constantes (caractéristiques du matériel, règles d'utilisation et d'optimisation des équipements).

Un panneau produit sa puissance maximum (Watt crête) seulement pendant la période de plus fort ensoleillement qui dépasse rarement 3 ou 4 heures par jours sauf dans les zones équatoriales et l'encombrement nuageux est très limitant pour ses performances. Techniquement, les modules solaires peuvent être installés sur toute zone non ombragée (terrain, terrasse, toiture, etc.). L'orientation et l'inclinaison idéale dépendent du lieu d'implantation des capteurs (latitude) et des saisons d'utilisation.

Pendant l'exploitation optimale d'un montage tel qu'il soit, on doit tenir compte des charges « invisibles ». De plus en plus d'appareils électroniques consomment de l'électricité même lorsqu'ils ne sont pas utilisés, notamment les téléviseurs et les magnétoscopes qui sauvegardent la mémoire de programmation, affichent l'heure et maintiennent actif le récepteur de la télécommande. L'électricité nécessaire à la mise en attente peut sembler insignifiante. Cependant, elle peut représenter une quantité d'énergie substantielle puisque l'électricité est consommée 24 heures sur 24. À titre d'exemple, la mise en attente d'un téléviseur télécommandé peut n'avoir qu'une puissance de 5 W, mais elle tire tout de même 120 Wh/j (5 W x 24 h), ce qui représente la même quantité d'énergie que l'utilisation de ce téléviseur (60 W) deux heures par jour (120 Wh/j). Il ya lieu d'économiser notre consommation, comme il est illustré dans l'exemple suivant : Un séchoir à cheveux de 1 650 W utilisé durant 8 minutes consomme la même quantité d'énergie que 5 lampes éco-énergétiques (11 W chacune) allumées durant 4 heures.

- Pour le séchoir :  $1650 \text{ W} \times 8/60 = 220 \text{ Wh}$

- Pour les fluorescents :  $5 \times 11 \text{ W} \times 4 = 220 \text{ Wh}$ .

Toutefois, une valeur de la charge à connecter au système pourra nous à aider estimer approximativement la dimension du système photovoltaïque qui convient. Nous devons aussi choisir la tension nominale des batteries et établir la durée de la période d'ensoleillement maximal de la région où on est.

### 3.3 REGULATEUR DE CHARGE TRISTAR :

Notre montage étudié dont les éléments sont présentés à la figure(3-1), on utilise le régulateur TRISTAR Figure (3-5) dont la description [12]:



**Figure 3.5 Régulateur de charge TRISTAR**

Le TriStar est un régulateur de système d'énergie solaire [12] 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.

Les régulateurs TriStar sont offerts en deux versions standard :

TriStar-45: Intensité nominale maximale de courant continu de 45A homologué pour systèmes c.c. de 12 V, 24 V, 48 V .

TriStar-60: Intensité nominale maximale de courant continu de 60A homologué pour systèmes c.c. de 12 V, 24 V, 48 V.

### **3.3.1 Mode Charge solaire de la batterie :**

En ce mode; l'énergie produite par un générateur photovoltaïque assure la recharge de la batterie du système. Le TriStar gère le processus de charge pour en assurer l'efficacité et pour maximiser la durée de vie de la batterie.

### **3.3.2 Mode Contrôle de l'appel de puissance :**

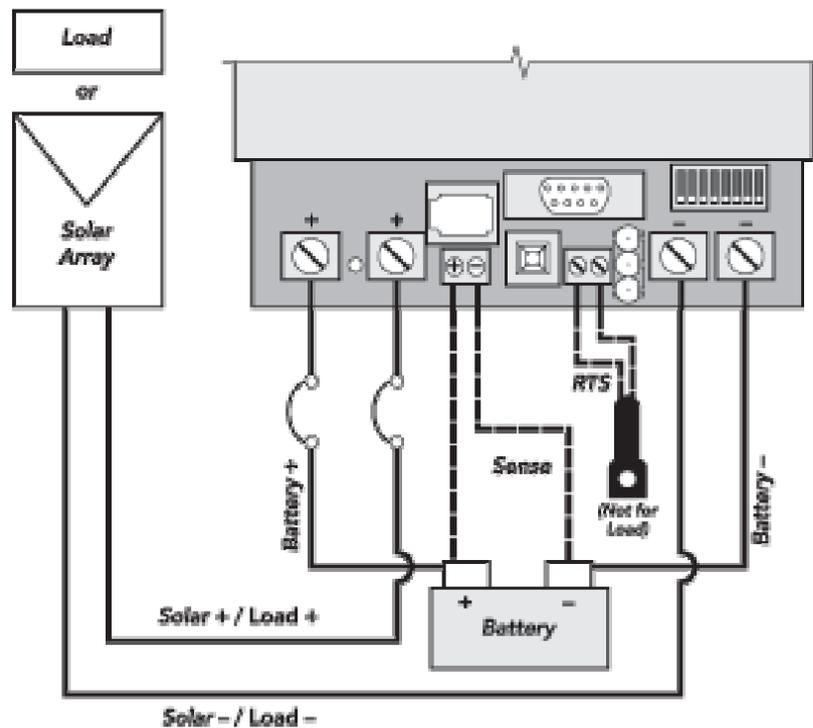
Lorsqu'il est réglé pour le contrôle de l'appel de puissance, le TriStar fournit le courant à des charges depuis la batterie tout en protégeant la batterie contre la décharge excessive au moyen d'un circuit de sectionnement au manque de tension (LVD) avec compensation du courant.

### **3.3.3 Mode Contrôle de la charge de dérivation :**

En mode de dérivation, le TriStar gère la charge de la batterie en faisant dériver l'énergie de la batterie vers une charge de dérivation prévue à cette fin. On utilise ce mode la plupart du temps pour l'énergie d'origine éolienne ou hydroélectrique. Dans le cas où on veut augmenter le courant de charge solaire, On peut connecter en parallèle un nombre quelconque de TriStars. Comme il peut détecter les conditions diurnes ou nocturnes, et aucune diode de blocage n'est utilisée dans le schéma du Tristar.

## **3.4 OPTIONS OFFERTES :**

Sur la figure (3-6) qui montre les modes de câblage apparaît aussi l'option RTS avec laquelle le Tristar est doté.



**Figure 3.6 Câblage de l'installation pour la charge solaire et pour le contrôle de l'appel de puissance**

### 3.4.1 Sonde thermique à distance (RTS) :

La sonde thermique à distance (RTS) du Tristar est exploitée pour s'assurer d'une charge stabilisée en température en mode de contrôle de la charge solaire de la batterie et le mode de contrôle de la charge de dérivation (elle ne doit pas être installée pour le contrôle de charge à courant continu).

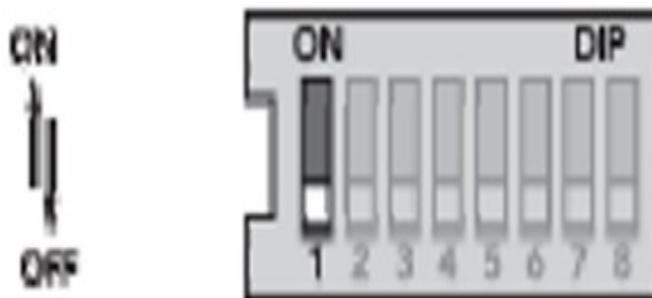
Reste à mentionner que le Tristar dispose d'une connexion du circuit de détection de tension de la batterie qui permet au régulateur de mesurer la tension réelle de la batterie dans toutes les conditions.

### 3.4.2 Mesure de la tension de la batterie (sens) :

Pour une mesure exacte de la tension de batteries et évité l'erreur introduite par la chute de tension par les câbles de connexion ; le Tristar fournit une sonde de mesure de haute impédance

### 3.4.3 Réglage des commutateurs DIP :

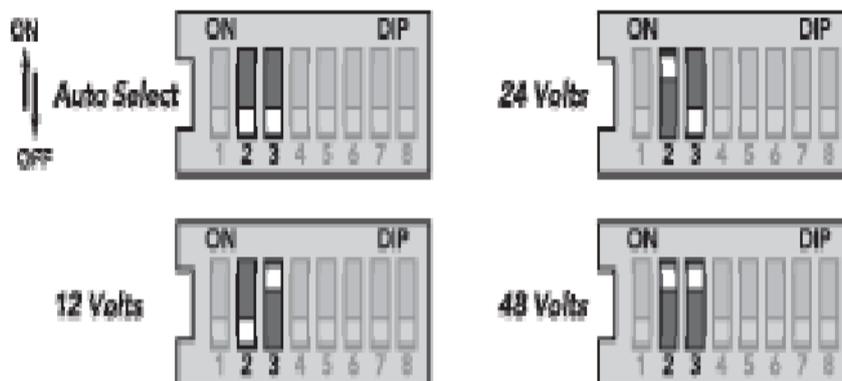
Le Tristar utilisé comporte 8 DIP à partir desquels on procède à sa configuration par différents réglages. La figure (3-7) présente le Tristar configuré en mode de contrôle charge solaire de la batterie, pour ce mode ; le commutateur DIP N°1 est mis en position OFF. Pour basculer en mode contrôle d'appel de puissance, ce même DIP est alors mis en position ON.



**Figure 3-7 : DIP du régulateur TRISTAR en mode charge solaire de batterie**

Les Commutateurs DIP numéros 2, 3 servent à la sélection de la tension du système au choix ( 12-24-48 ou automatique) selon le tableau ci-dessous expliquant la figure (3-8):

Tension	Commutateur 2	Commutateur 3
Auto	Off	Off
12	Off	On
24	On	Off
48	On	On



**Figure 3.8 : Commutateurs N°2,3**

Le TriStar fournit 7 algorithmes (programmes) standard de charge de la batterie, qu'on sélectionne à l'aide des commutateurs DIP numéros 4, 5, 6 sur la Figure (3-9), ces

commutateurs sont sélectionnés selon la tension MLI correspondant au type de la batterie ; La modulation de largeur d'impulsions MLI (en anglais: Pulse With Modulation, soit PWM), est une technique couramment utilisée pour synthétiser des signaux continus à l'aide de circuits à fonctionnement tout ou rien.

Ces algorithmes standards conviennent aux batteries acide-plomb, allant des batteries scellées (à gel, AGM, sans entretien) aux batteries à électrolyte, en passant par les piles L-16. Le tableau ci-dessous résume les principaux paramètres des algorithmes de charge standard. À noter que toutes les tensions s'appliquent à des systèmes de 12 V , 24 V et 48 V .

Type de batterie	Tension MLI	Commutateur 4	Commutateur 5	Commutateur 6
1(Scellée)	14.0	Off	Off	Off
2(Scellée)	14.5	Off	Off	On
3(Scellée)	14.35	Off	On	Off
4(Electrolyte)	14.4	Off	On	On
5(Electrolyte)	14.6	On	Off	Off
6(Electrolyte)	14.8	On	Off	On
7(L-16)	15.0	On	On	Off
8(Personnalisé)	Personnalisé	On	On	On

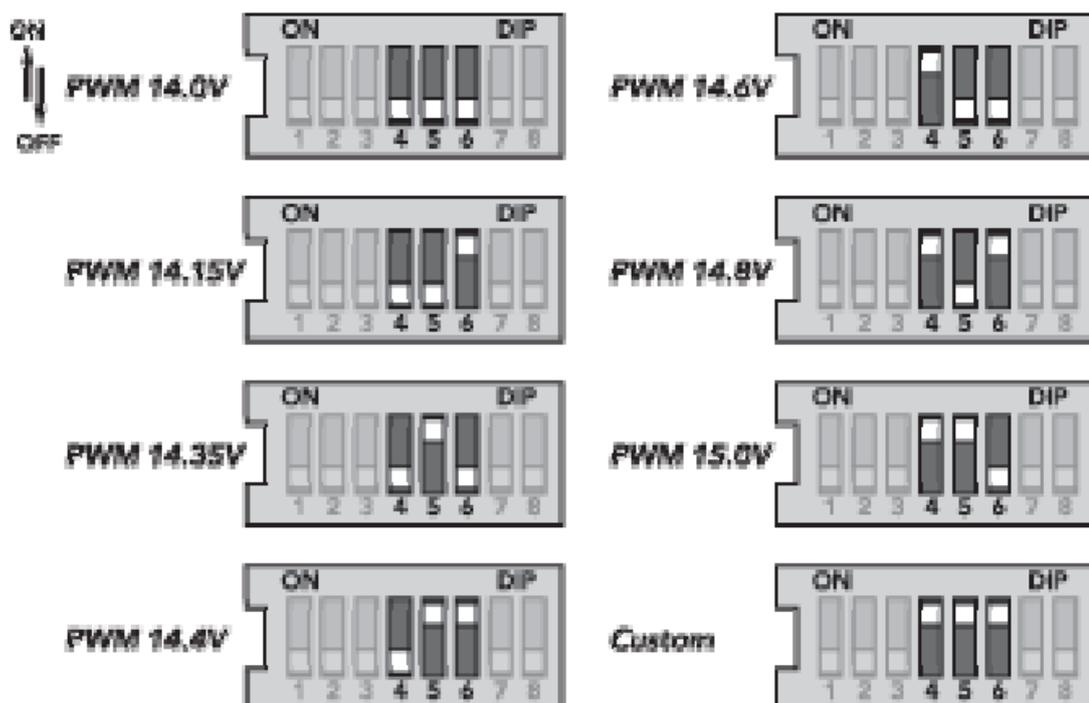
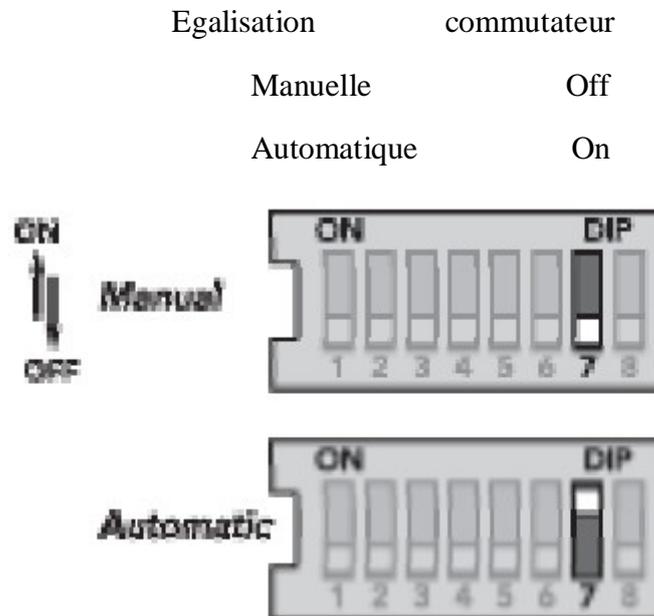


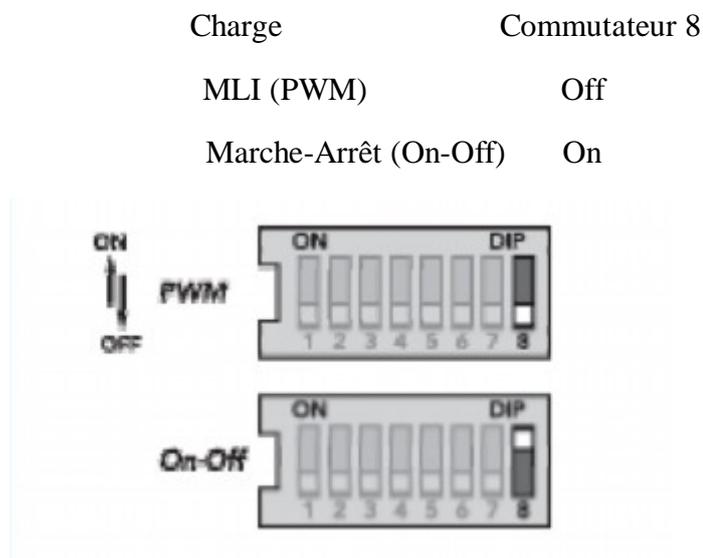
Figure ( 3.9 ) : Commutateurs N°4,5,6

Le Commutateur DIP numéro 7 est configuré « manuelle-automatique », figure (3-10) selon l'activation du mode de la Charge d'égalisation de la batterie. Une charge d'égalisation a pour objet de charger pleinement chaque accumulateur afin d'éviter des déséquilibres entre les différents accumulateurs qui composent les batteries.



**Figure (3.10) Commutateur N<sup>0</sup>7**

Dans les cas où la régulation MLI provoque des bruits parasites sur les charges (p. ex. certains types d'équipements de télécommunication ou de radios), il est possible de transformer le TriStar pour une méthode de régulation « Marche-Arrêt » de la charge solaire afin de réduire ces bruits. Ceci pourra être effectué en agissant sur le commutateur N<sup>0</sup>8 comme indiqué à la Figure (3-11)



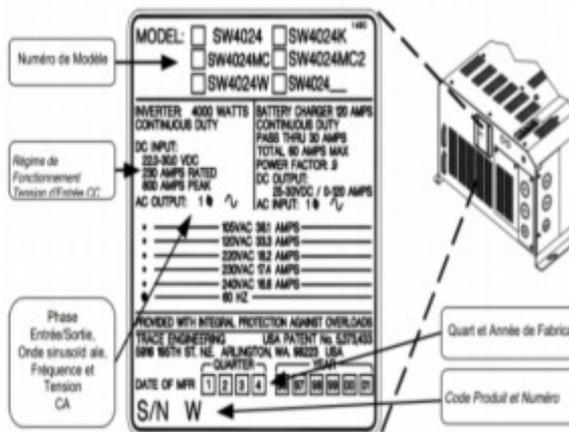
**Figure(3.11) : Commutateur N<sup>0</sup>8**

**3.5-Onduleur (XANTREX SW série inverter/charger ) :**

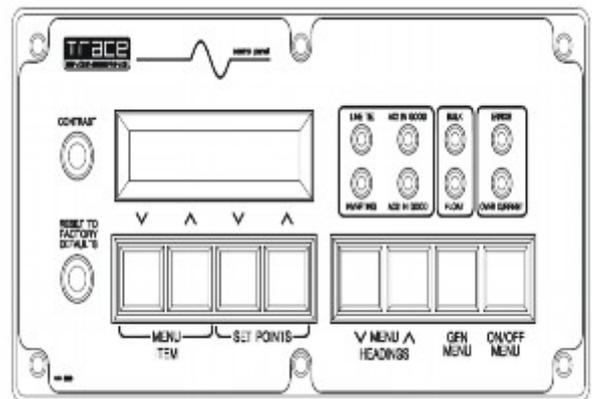
L’onduleur utilisé dans notre montage est de marque Xantrax SW3048E dont la description est la suivante [13] :



a- Vue de face



b- Plaque signalétique

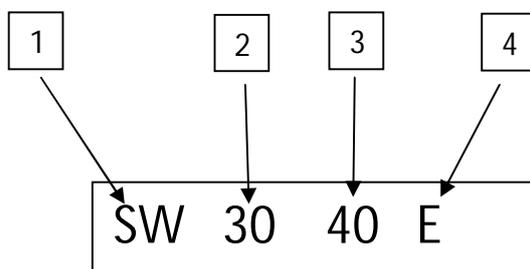


c- Ecrans des menus

Figure (3.12) : Onduleur Xantrax SW3048E

### 3.5.1 Description :

L'onduleur/chargeur est identifié par une étiquette à partir de laquelle on peut lire les renseignements comme suit :



1 : Indique le type de l'onduleur chargeur, il s'agit d'un SW sinwave ( signalé sinusoïdale )

2 : Les premiers chiffres indiquent la puissance de sortie de l'onduleur '3000 watts'

3 : Les deux deuxièmes chiffres indiquent la tension nominale des batteries 48Vcc

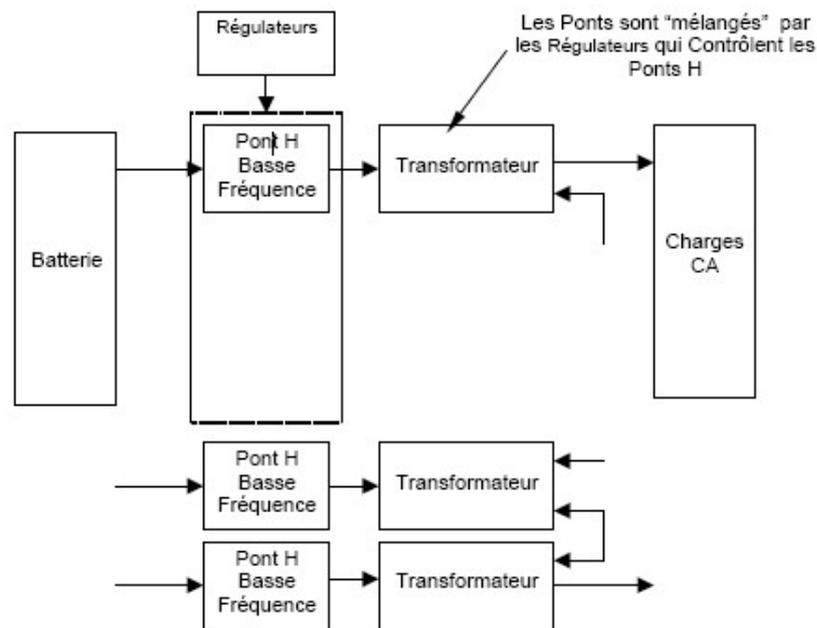
4 : Lettre qui indique la tension de sortie et la fréquence d'onduleur selon le tableau suivant :

Lettre suffixe	Tension de sortie	Fréquence de sortie
E	230VCA	50Hz
J	105 VCA	50 Hz
K	105 VCA	60 Hz
W	220 VCA	60 Hz
Pas de lettre	120 VCA	60 Hz

Il est destiné à convertir une entrée 48 VCC en sortie de tension CA et à charger des batteries de 48VCC 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.

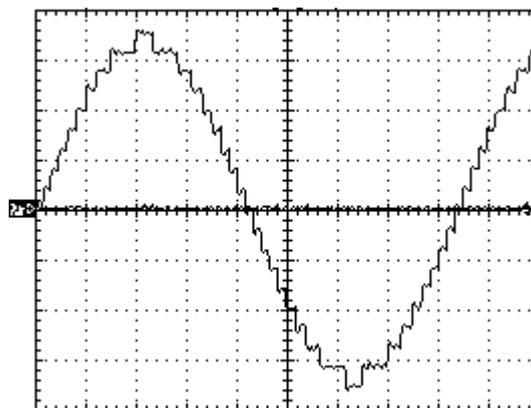
### 3.5.2 Fonctionnement :

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 (3.13). Ces trois onduleurs sont liés les uns aux autres par leurs transformateurs.



**Figure 3.13 schéma fonctionnel simplifié de l'onduleur série SW Trace™**

En mélangeant les sorties des différents transformateurs, une onde sinusoïdale est produite. La Figure (3-14) 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.

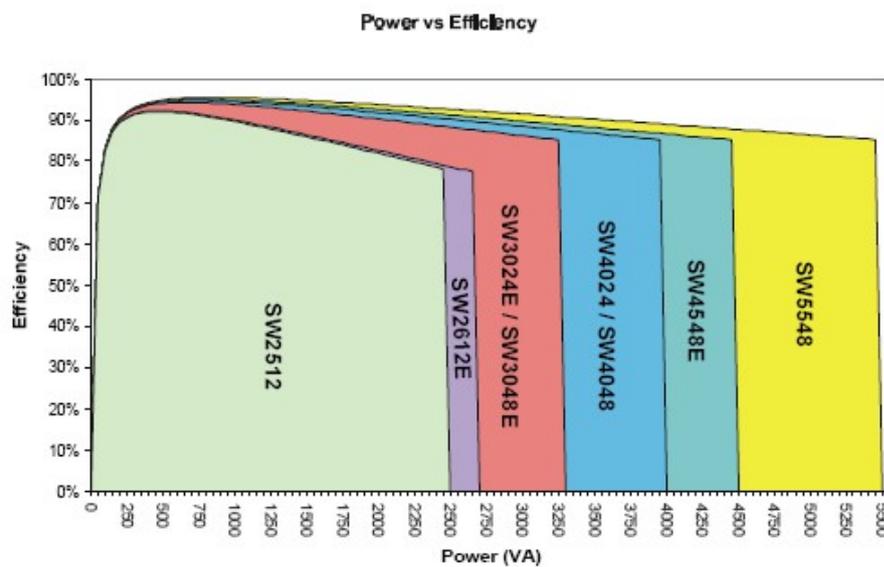


**Figure (3-14) Onde Sinusoïdale de Sortie de l'Onduleur Série SW Trace™**

### 3.5.3 Modes de fonctionnement :

Sous plusieurs modes de fonctionnement et à des niveaux très bas de charge CA, l'onduleur atteint un haut rendement, ce qui est important, car l'onduleur passe la majeure partie de son temps au régime de puissance le plus bas. Le haut rendement est conservé pour de nombreux régimes de puissance figure (3.15). Ce n'est que dans le cadre d'un fonctionnement à des niveaux élevés de puissance aux niveaux de puissance continue ou au-dessus que le

rendement commence à diminuer. Ceci se produisant généralement pendant de courtes durées, l'impact peut être négligeable.



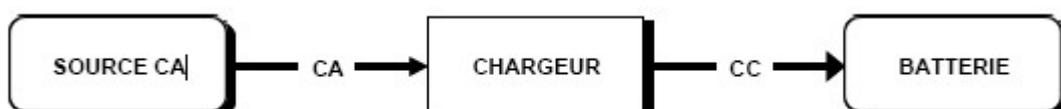
**Figure 3.15 Courbes de Rendement Série SW Trace™**

### 3.5.3.a « INVERTER MODE » (mode onduleur) :



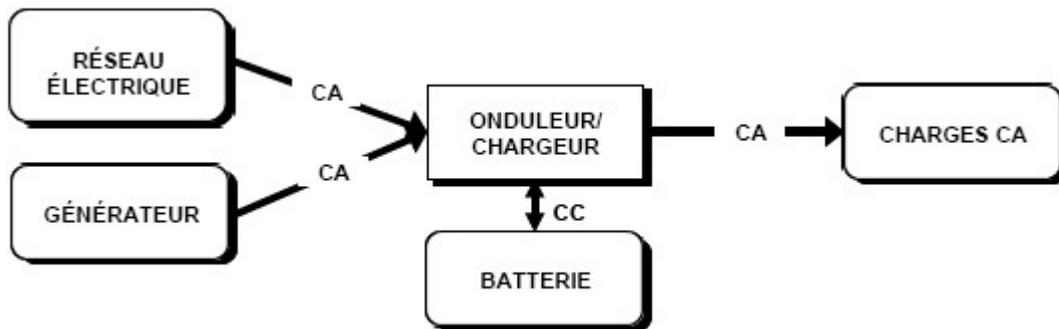
L'onduleur effectue une approche par paliers d'une onde sinusoïdale. Une tension basse de batterie et/ou un niveau haut de puissance utile augmente le nombre de paliers. Une tension élevée de batterie réduit le nombre de paliers.

### 3.5.3.b « CHARGER MODE » (MODE CHARGEUR) :



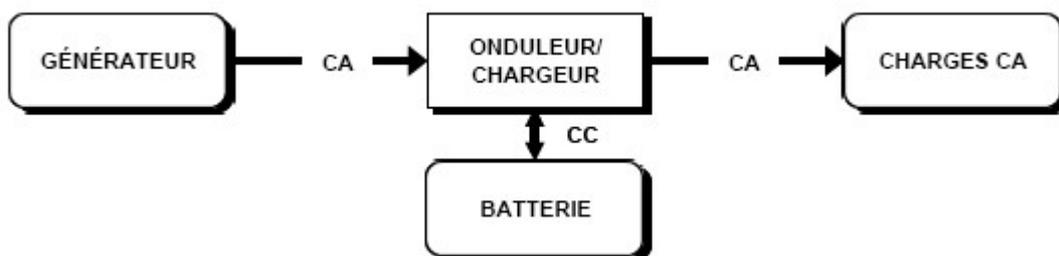
Lorsque la puissance CA est disponible, l'onduleur peut fonctionner en tant que chargeur de batterie très puissant avec une distorsion de courant faible. Le chargeur s'éteint également si la tension CA baisse jusqu'à un réglage ajustable de limite minimum VCA.

### 3.5.3.c « INVERTER/CHARGER MODE» (mode onduleur/chargeur) :



L'onduleur/Chargeur Série SW est capable de transférer automatiquement les charges CA de l'onduleur vers un réseau électrique ou vers un générateur. Après ce transfert, l'onduleur peut recharger la batterie.

### 3.5.3.d « GENERATOR SUPPORT MODE» (Mode soutien du générateur) :



Les réglages par défaut d'usine ont pour but de faire fonctionner l'onduleur comme un onduleur/chargeur connecté à un générateur. Lorsque le générateur est éteint, l'onduleur alimente les charges CA à partir de la batterie. Une fois le générateur lancé, les charges CA sont transférées vers le générateur et l'onduleur devient un chargeur de batterie et stocke la puissance inutilisée dans les batteries pour une utilisation ultérieure. L'onduleur limite automatiquement le prélèvement du chargeur de la batterie pour empêcher une surcharge du générateur. Lorsque le générateur est éteint, il est déconnecté ; l'onduleur le remplace instantanément et alimente les charges CA à partir des batteries.

Comme on peut trouver autres modes de fonctionnement pour ce type d'onduleurs à savoir

- AUTOMATIC GENERATOR CONTROL MODE (mode contrôle automatique du Générateur)
- UTILITY BACKUP MODE (mode secours électrique)
- ENERGY MANAGEMENT MODE ( mode gestion de l'énergie)
- PEAK LOAD SHAVING MODE (mode diminution de la charge de pointe)
- LOW BATTERY TRANSFER MODE (mode transfert à cause de batterie faible).

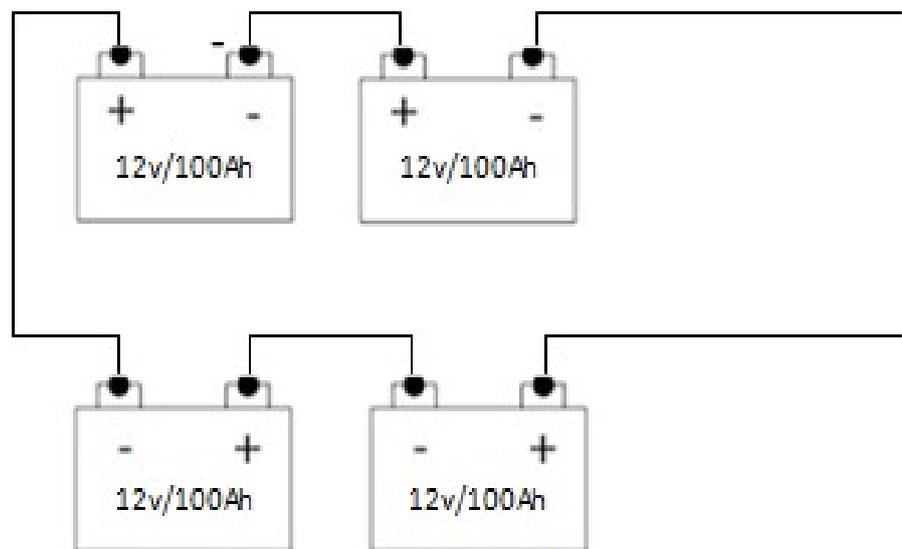
### 3.6 Batteries solaires :

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 [17].

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 (3-16) Afin d'avoir une valeur de la tension égale à 48V(le courant reste de valeur de 100Ah , montage série des batteries).



**Figure 3.16 raccordements des batteries du**

#### 3.6.1 Les Protections déployées :

Pour la sécurité du personnel intervenant est celle du matériel utilisé, le montage doit comporter :

- a- La protection de limitation de courant par l'installation des disjoncteurs ou fusibles en amont de l'onduleur, de la batterie et de la charge.

- b-** Protection contre la foudre : Un parafoudre est nécessaire pour protéger les installations des tensions transitoires élevées. Placé entre le fusible des panneaux et le régulateur, il sera relié à la terre afin d'évacuer la foudre potentiellement attirée par la structure métallique des modules (elle-même reliée à la terre). Il est préférable d'utiliser aussi un parafoudre en tête de l'installation en alternatif.
- c-** Mise à la terre : La mise à la terre assurera la protection des personnes et du matériel : la structure des modules, les parafoudres, l'onduleur sera raccordé à la terre. Il ya lieu de signaler que le groupement des batteries nécessite de respecter certains Principes, soient :
- a- Les batteries à monter en série doivent :
- \* être de même type (fabrication),
  - \* avoir les mêmes capacités (Ah),
  - \* avoir une densité d'électrolyte égale (état de charge égal).
- b-** Les batteries à monter en parallèle doivent :
- \* être de même type (fabrication),
  - \* avoir la même tension nominale,
  - \* avoir une densité d'électrolyte égale (état de charge égal).
  - \* les capacités nominales des batteries ne doivent pas être trop Différentes.

## 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-45 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.

*Chapitre 4:*  
*Résultats et interprétations*

## 4.1 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- Température de la batterie ...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
- Observation du cycle de charges des batteries

Dans les étapes suivantes on présentera en bref chacune des étapes. Par les interprétations qui accompagnent les figures extraites, nous essayons d'expliquer les comportements et modes de fonctionnement de l'onduleur-chargeur en premier lieu et puis le reste des éléments constituant le montage.

## 4.2 INTERACTION LOGICIEL MSVIEW –REGULATEUR TRISTAR :

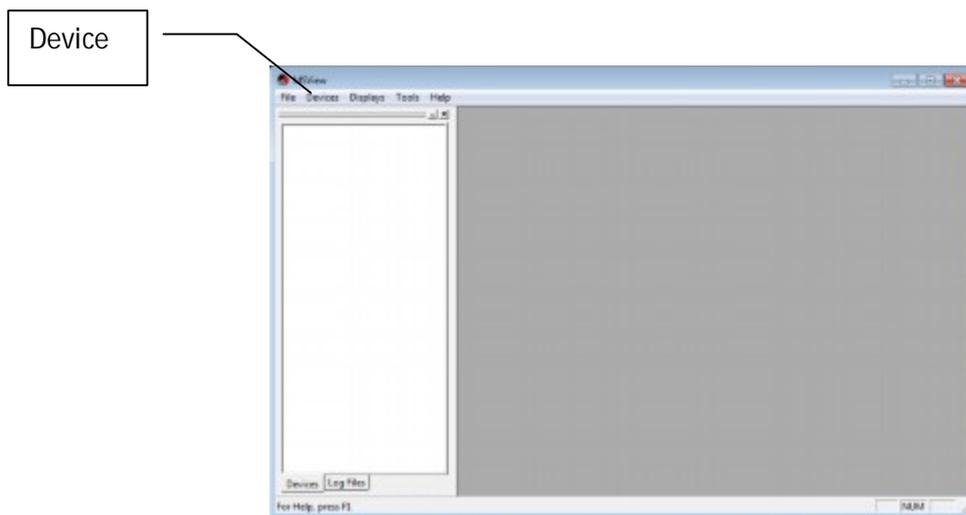
### \* Le logiciel MSVIEW :

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 circuler 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.

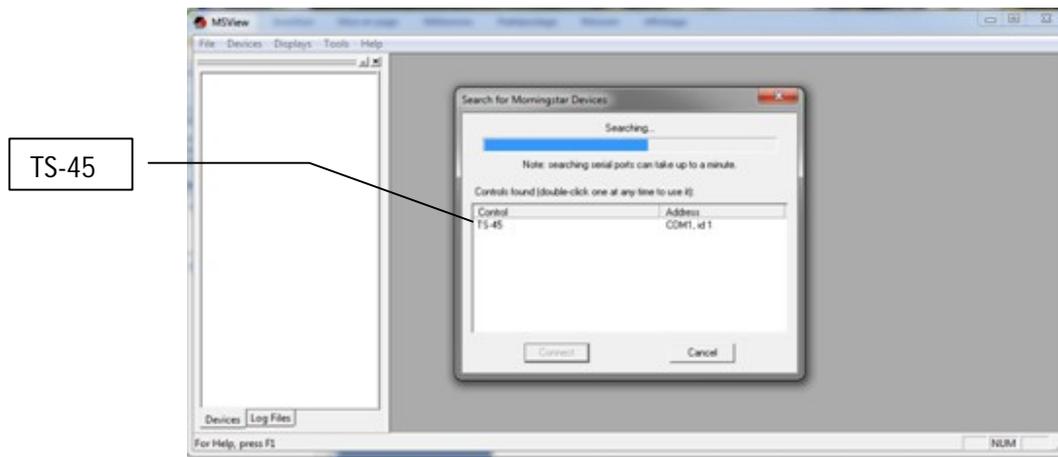
Dès l'installation et l'exécution, le menu principale apparaîtra comme suite, figure (4.1) :



**Figure (4.1) : menu principale du logiciel MSVIEW**

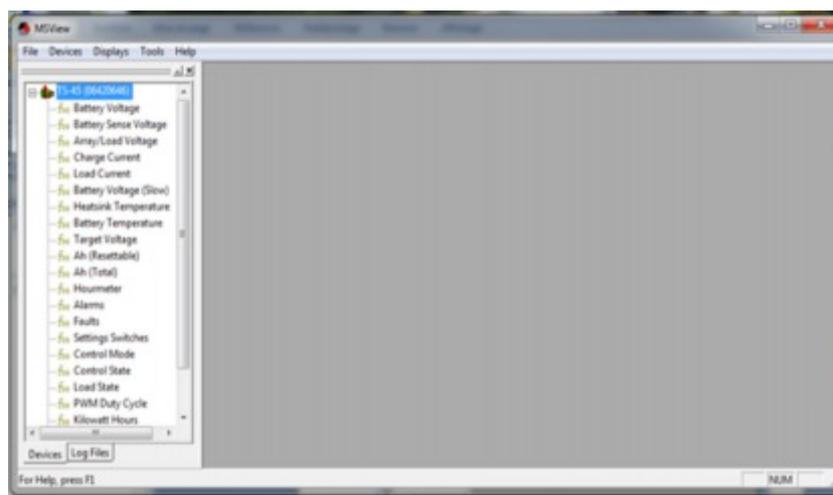
A partir de ce menu, on cherche l'équipement associé, qui est dans notre cas le Tristar, sur le menu device, on choisie la fonction « search for connected devices » .

L'appareil associé apparaîtra dans la fenêtre de recherche et sera ainsi choisie pour communiquer avec le logiciel, figure (4.2).



**Figure (4.2) : détection de l'équipement**

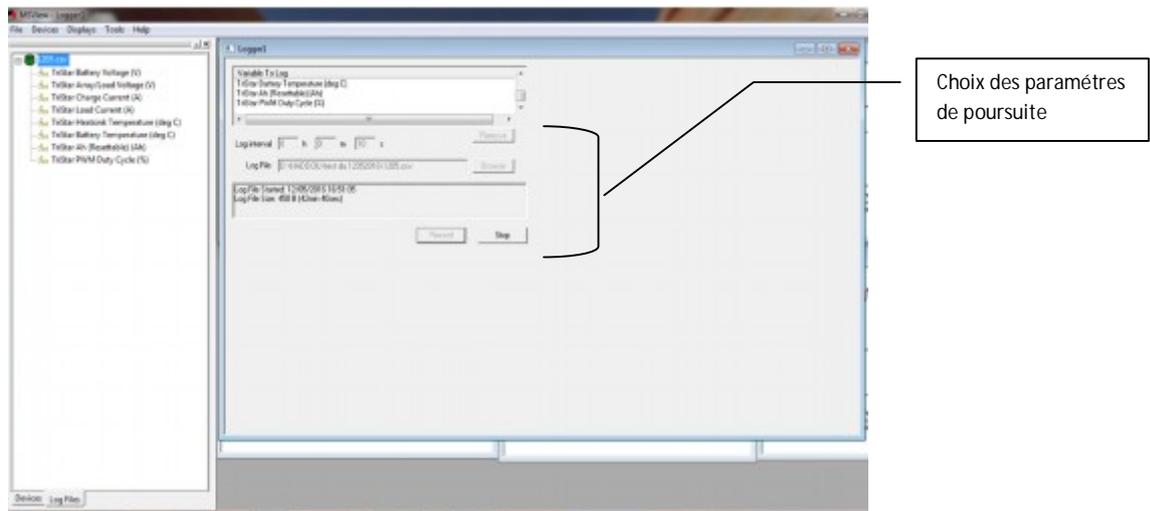
Après association, le menu du Tristar apparaîtra sur la barre des fonctions à gauche du menu principale, figure (4.3) et pour l'acquisition des données, on devrait ouvrir un fichier CSV ( comma separated values file) dans lequel toutes les valeurs issue du Tristar seront stockés et affichés sur l'écran.



**Figure (4.3) : détection réussi 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(4.4).

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 (4.4) : choix des paramètres désirés**

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

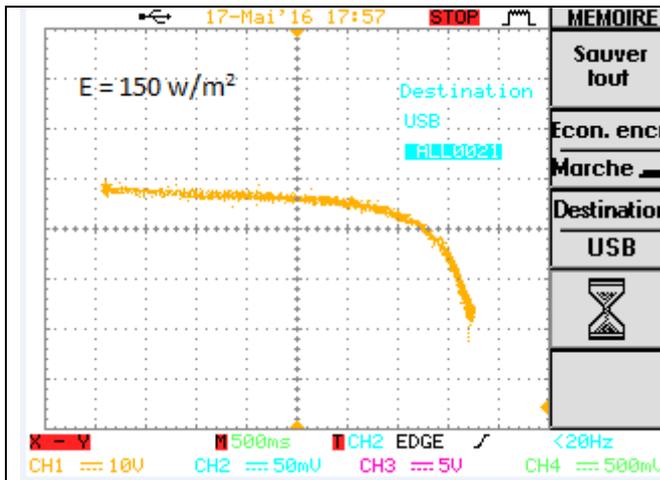
#### **4.3 Observation du fonctionnement de la source PV :**

Comme indiqué précédemment au chapitre3 dans le paragraphe 3.2.2 page33, notre source PV est constituée de 6 modules solaire montés en série – parallèles.

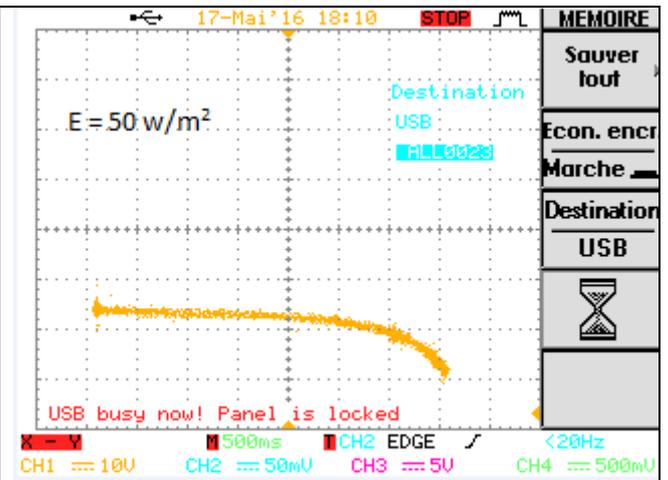


**Figure 4.5 : vue du champ photovoltaïque utilisé**

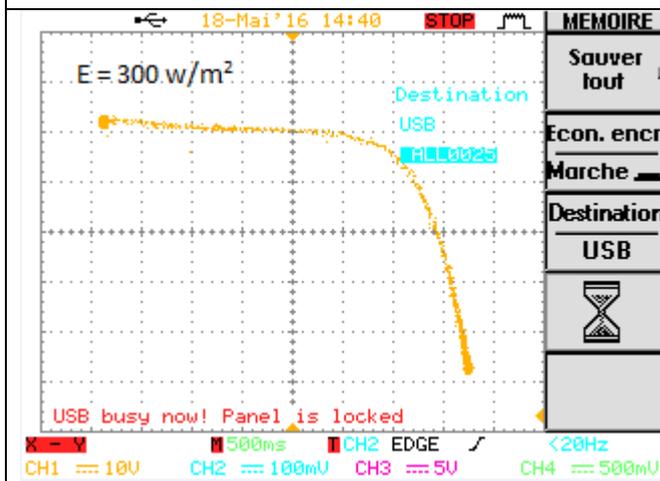
La figure suivante (4.6) représente les caractéristiques courant - tension I-V pour différentes valeurs d'irradiations incidentes et pour une température ambiante de 30 °C selon les résultats pratiques.



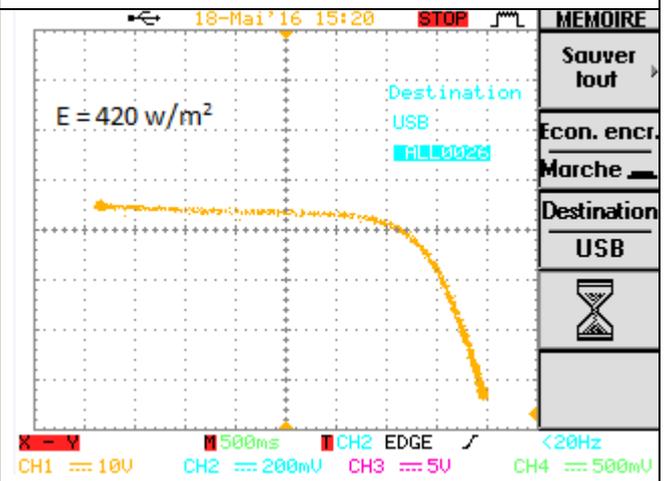
Figure(4.6.a) : Allure I-V pour un éclairement E1



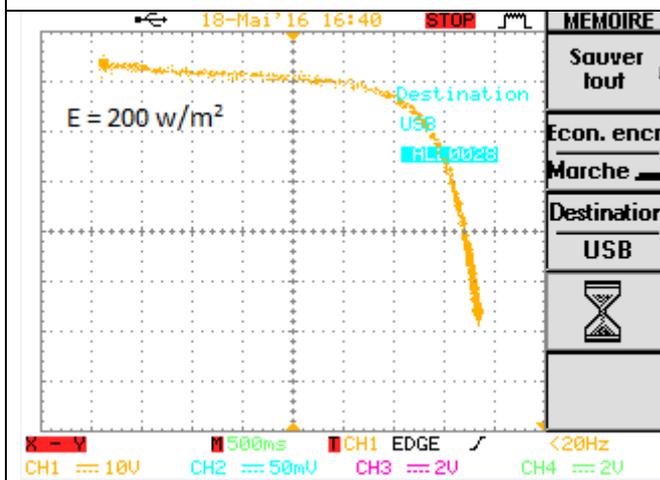
Figure(4.6.b) : Allure I-V pour un éclairement E2



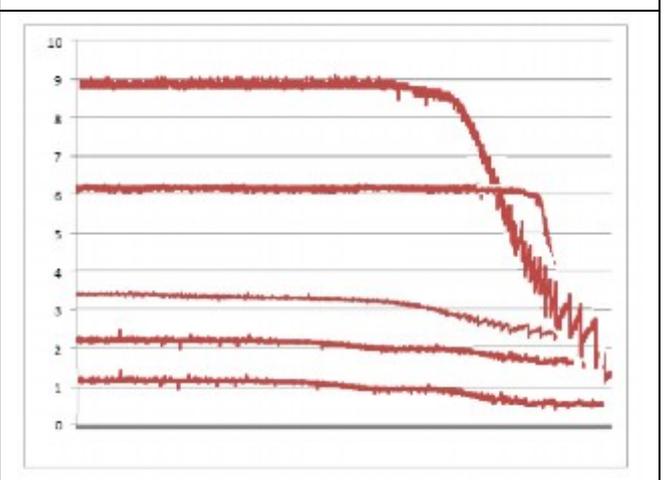
Figure(4.6.c) : Allure I-V pour un éclairement E3



Figure(4.6.d) : Allure I-V pour un éclairement E4



Figure(4.6.e) : Allure I-V pour un éclairement E5



Figure(4.6.e) : Allures regroupées I-V pour différents éclairements E<sub>i</sub>

**Figure 4.6 : Caractéristique courant - tension pour différentes valeurs d'éclairements**

D'après ces courbes on peut déduire la relation entre l'éclairement et le courant de court-circuit ( $I_{cc}$ ). Il est évident que cette relation n'est pas linéaire, plutôt elle prend une forme Hyperbolique [19].

#### 4.4 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 5 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 4.2 p51. Les figures suivantes illustrent différentes allures des variables choisies.

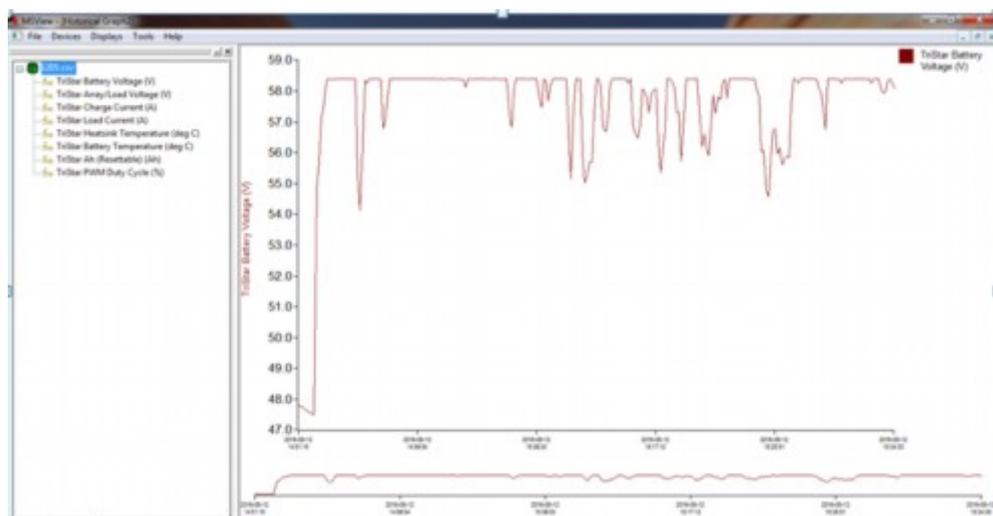
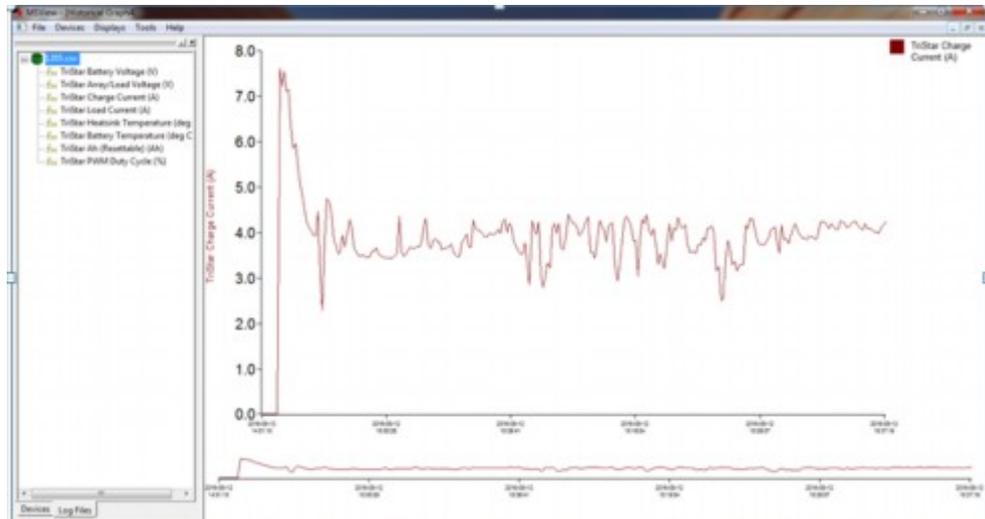


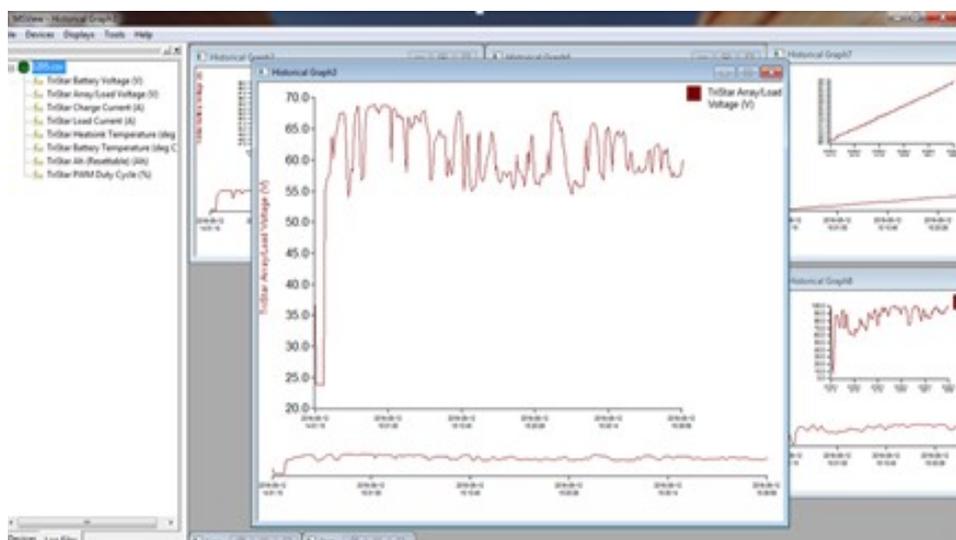
Figure 4.7 : allure de la fonction : tension de la batterie

Cette figure(4.7) montre la tension de la batterie appliquée sur le régulateur de charge. Il est évident que la valeur maximal est de 58,4 V ( $14,6\text{V} \times 4$ ) si la tension des panneaux est au-delà de cette valeur programmée. Si la tension PV est au dessous de cette valeur, la charge la met en branchement directe sur la batterie.



**Figure (4.8) : allure de la fonction : courant de charge**

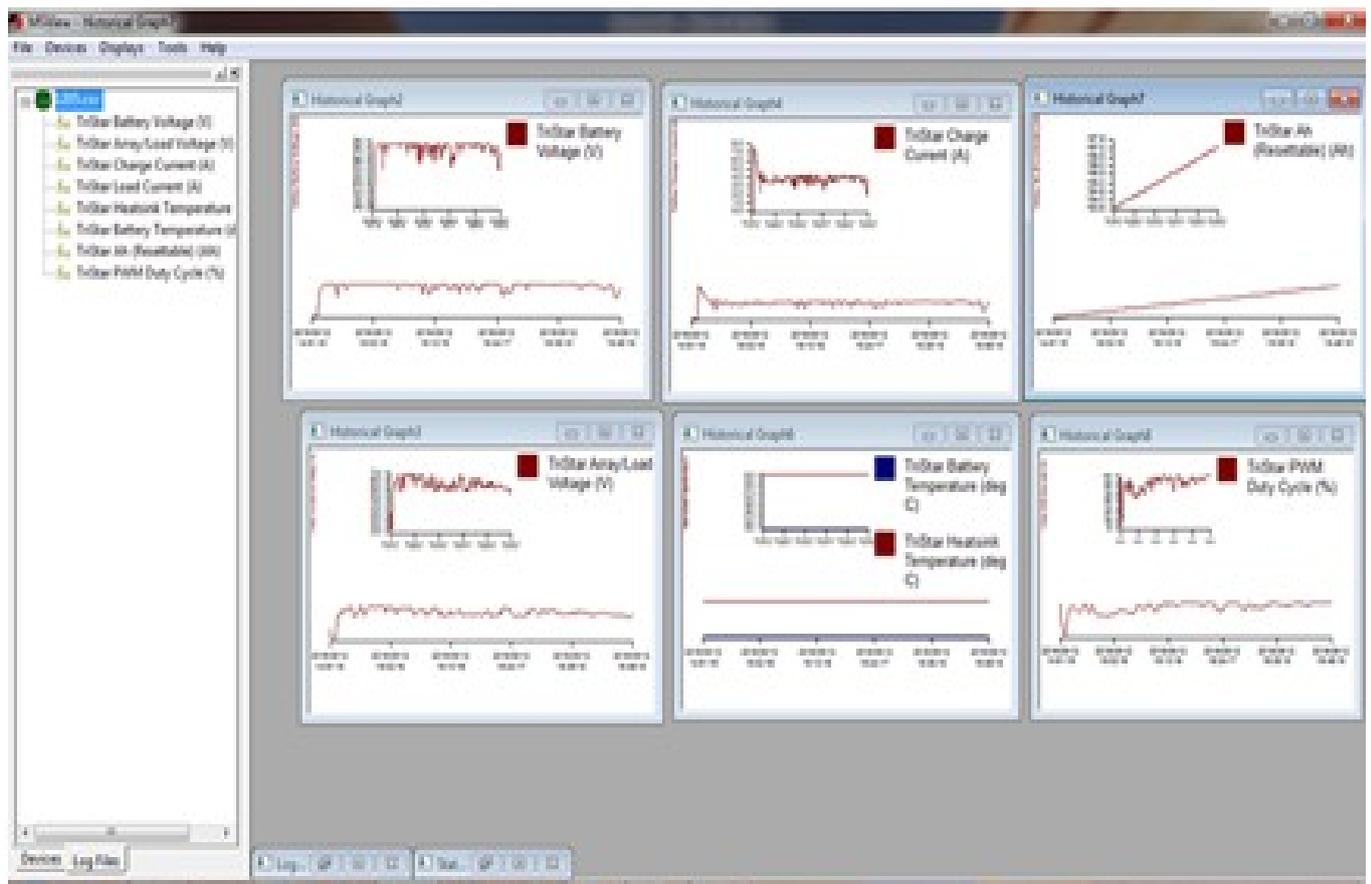
La figure (4.8) présente le courant de charge des batteries, au début, les batteries sont déchargés d'où on a un fort appel de courant, à la fin de charge, le courant est maintenu constant.



**Figure (4.9) : allure de la fonction : Tension des panneaux**

La figure (4.9) présente l'allure de la tension des panneaux photovoltaïques. On peut bien voir les fluctuations de cette tension qui est due aux variations de l'éclairement.

Le logiciel MSVIEW nous permet de visualiser et suivre on-line tous les paramètres désirés au graphiquement au fil de temps comme il est indiqué sur la figure (4.10).



**Figure (4.10) : Disposition globale des fonctions (choisies)**

De plus ce logiciel peut visualiser les valeurs instantanées de toutes les variables comme indiqué sur la figure (4.11).

Device	Variable	Value	Units
TS-45 (0642064E)	Battery Voltage	47.79	V
TS-45 (0642064E)	Battery Sense Voltage	0.00	V
TS-45 (0642064E)	Array/Load Voltage	23.91	V
TS-45 (0642064E)	Charge Current	0.00	A
TS-45 (0642064E)	Load Current	0.00	A
TS-45 (0642064E)	Battery Voltage (Slow)	47.83	V
TS-45 (0642064E)	Heatsink Temperature	33	deg C
TS-45 (0642064E)	Battery Temperature	25	deg C
TS-45 (0642064E)	Target Voltage	0.00	V
TS-45 (0642064E)	Ah (Resettable)	198.50	Ah
TS-45 (0642064E)	Ah (Total)	4842.80	Ah
TS-45 (0642064E)	Hourmeter	4034	hrs
TS-45 (0642064E)	Alarms	RTS Open	
TS-45 (0642064E)	Faults	no faults	
TS-45 (0642064E)	Settings Switches	OFF/ON/ON/ON/OFF/OFF/ON/OFF	
TS-45 (0642064E)	Control Mode	Charge	
TS-45 (0642064E)	Control State	Night	
TS-45 (0642064E)	Load State	LVD	
TS-45 (0642064E)	PWM Duty Cycle	0.78	%
TS-45 (0642064E)	Kilowatt Hours		kWh
TS-45 (0642064E)	Minimum Battery Voltage		V
TS-45 (0642064E)	Maximum Battery Voltage		V

Figure (4.11) : Visualisation de tous les états poursuivis par l'équipement

#### 4.5 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 différentes conditions de travail afin de mieux comprendre la topologie utilisée dans ce système.

La figure (4.12), 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  $\approx 236$  V.

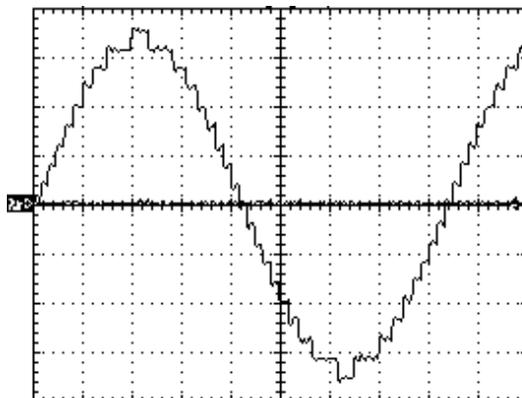
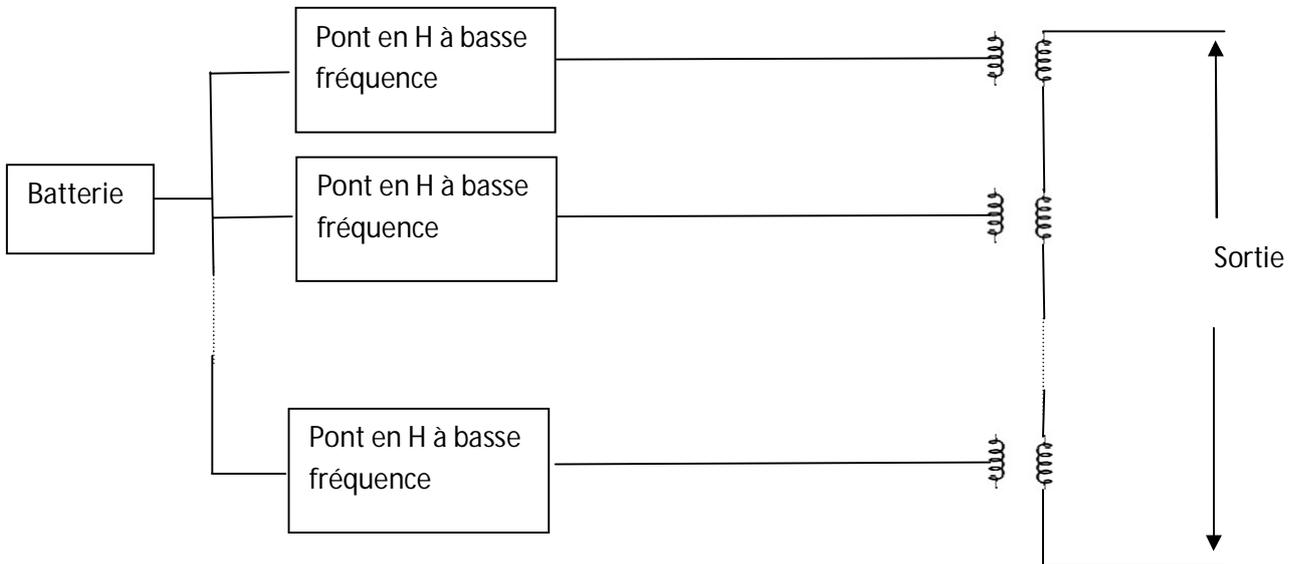


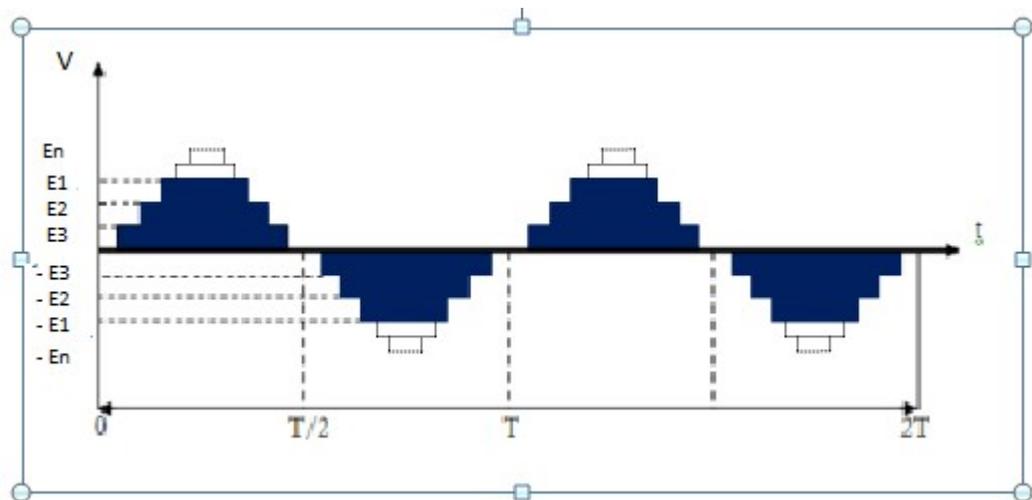
Figure 4.12 : Onde Sinusoïdale de Sortie de l'Onduleur Série SW Trace™

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( 4.13).



**Figure 4.13 : Onduleur multi niveaux en H**

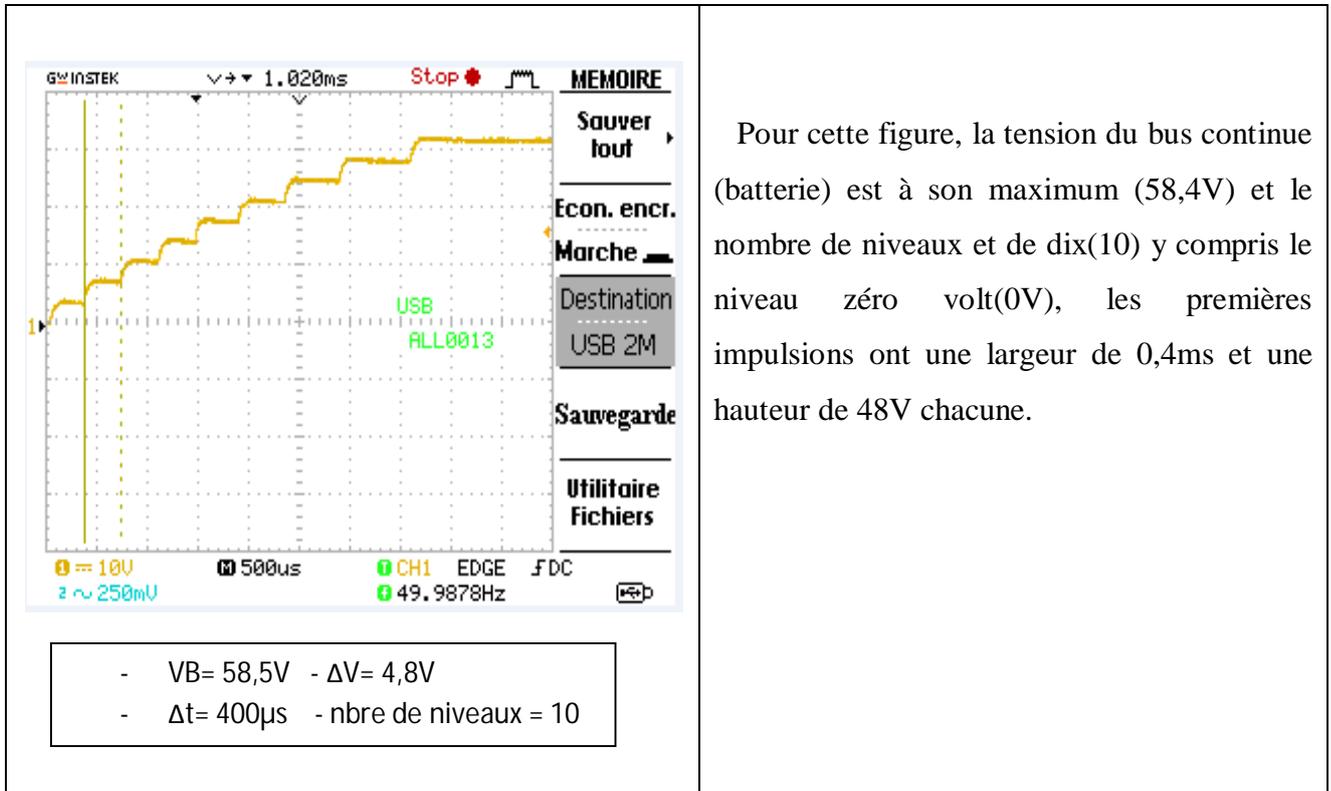
La conversion de l'onde de sortie est obtenue de la somme de 'n' pont en H fonctionnant en basse fréquence diminuant ainsi les pertes par commutation.



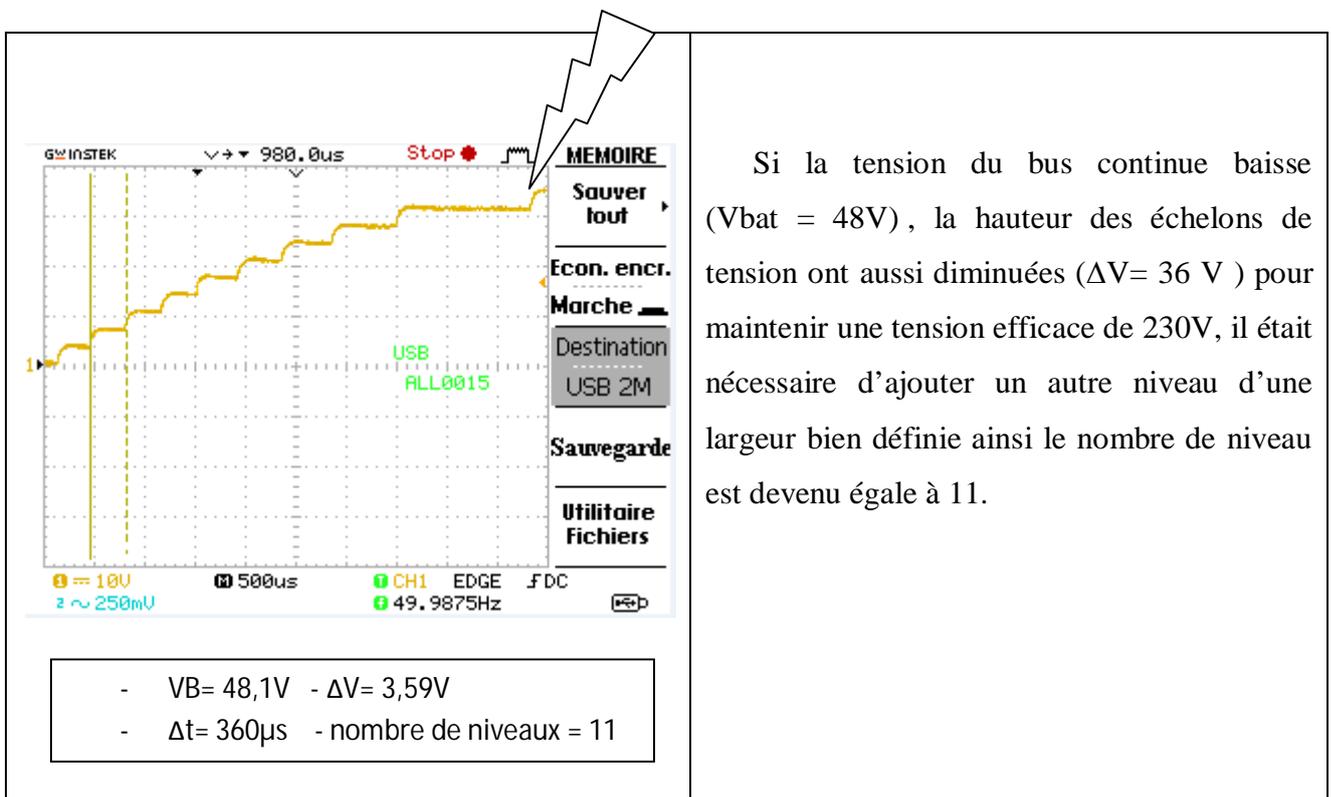
**Figure (4.14) : Onde de sortie obtenue à partir de 'n' pont en H**

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 distortion », 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 [18].

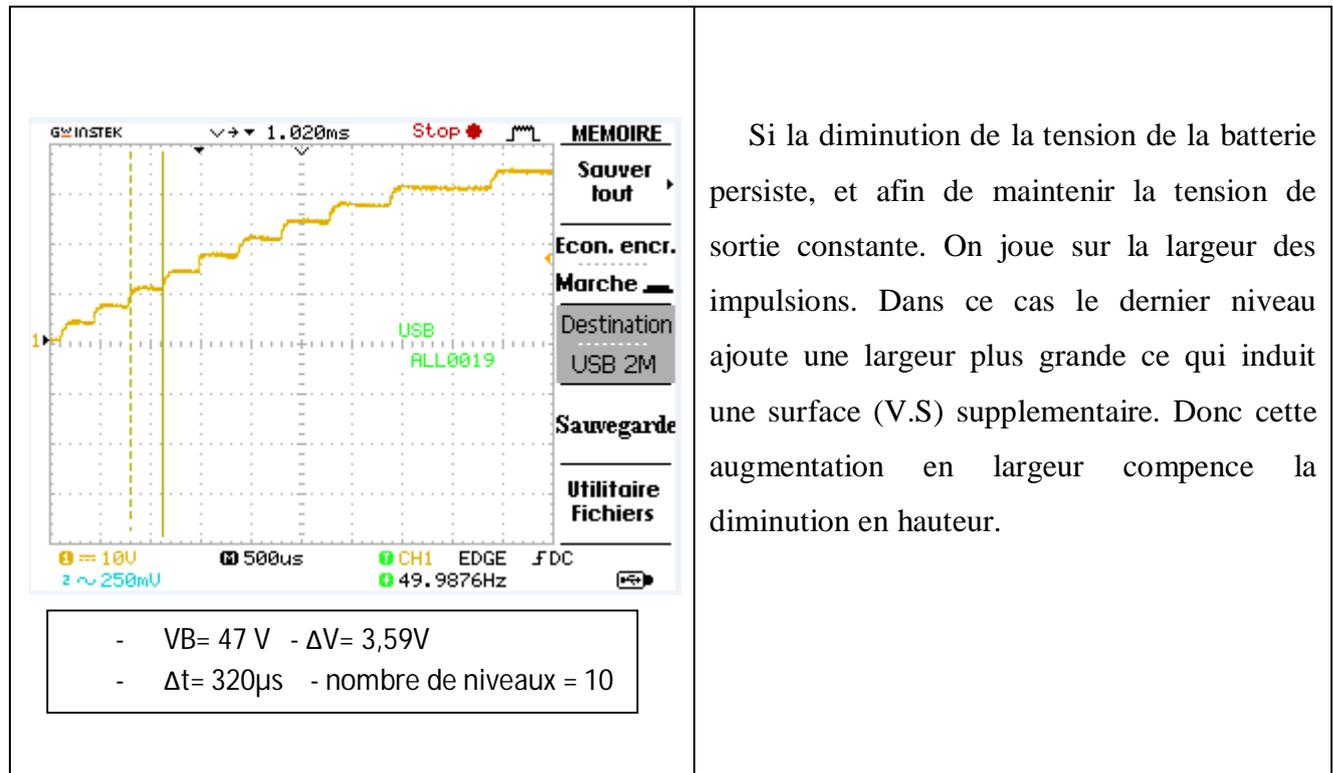
Les figures suivantes montrent la relation entre la hauteur des paliers, leurs largeurs et le nombre des niveaux. Pour mieux illustrer les variations, on a présenté le quart de période de la fonction tension.



Pour cette figure, la tension du bus continue (batterie) est à son maximum (58,4V) et le nombre de niveaux est de dix(10) y compris le niveau zéro volt(0V), les premières impulsions ont une largeur de 0,4ms et une hauteur de 48V chacune.



Si la tension du bus continue baisse ( $V_{bat} = 48V$ ), la hauteur des échelons de tension ont aussi diminuées ( $\Delta V = 36 V$ ) pour maintenir une tension efficace de 230V, il était nécessaire d'ajouter un autre niveau d'une largeur bien définie ainsi le nombre de niveau est devenu égale à 11.



A une tension d'une valeur de 43V de batterie, le montage s'y mis à l'arrêt du faite que cette valeur de la tension minimale représente le seuil minimal contrôlé par le régulateur de charge batterie incorporé dans le montage. Cet arrêt du montage préserve la durée de vie de batteries utilisées en les protégeant d'une décharge totale.

### Conclusion

Dans ce chapitre, le traitement du système photovoltaïque étudié nous a permis de connaître le fonctionnement de chacun des éléments qui le compose et de plus ça nous a permis de connaître le mode de fonctionnement de ces éléments. L'idée s'est encore clarifiée par les interprétations faites sur les graphiques visualisés des tensions délivrée par l'onduleur qu'on peut affirmer de son fonctionnement en multi niveaux et délivre une forme d'un signale de tension quasi sinusoïdale mais et des paramètres contrôlés par le régulateur. Tous en gardant stable la valeur efficace de la tension alternative.

## CONCLUSION GENERALE

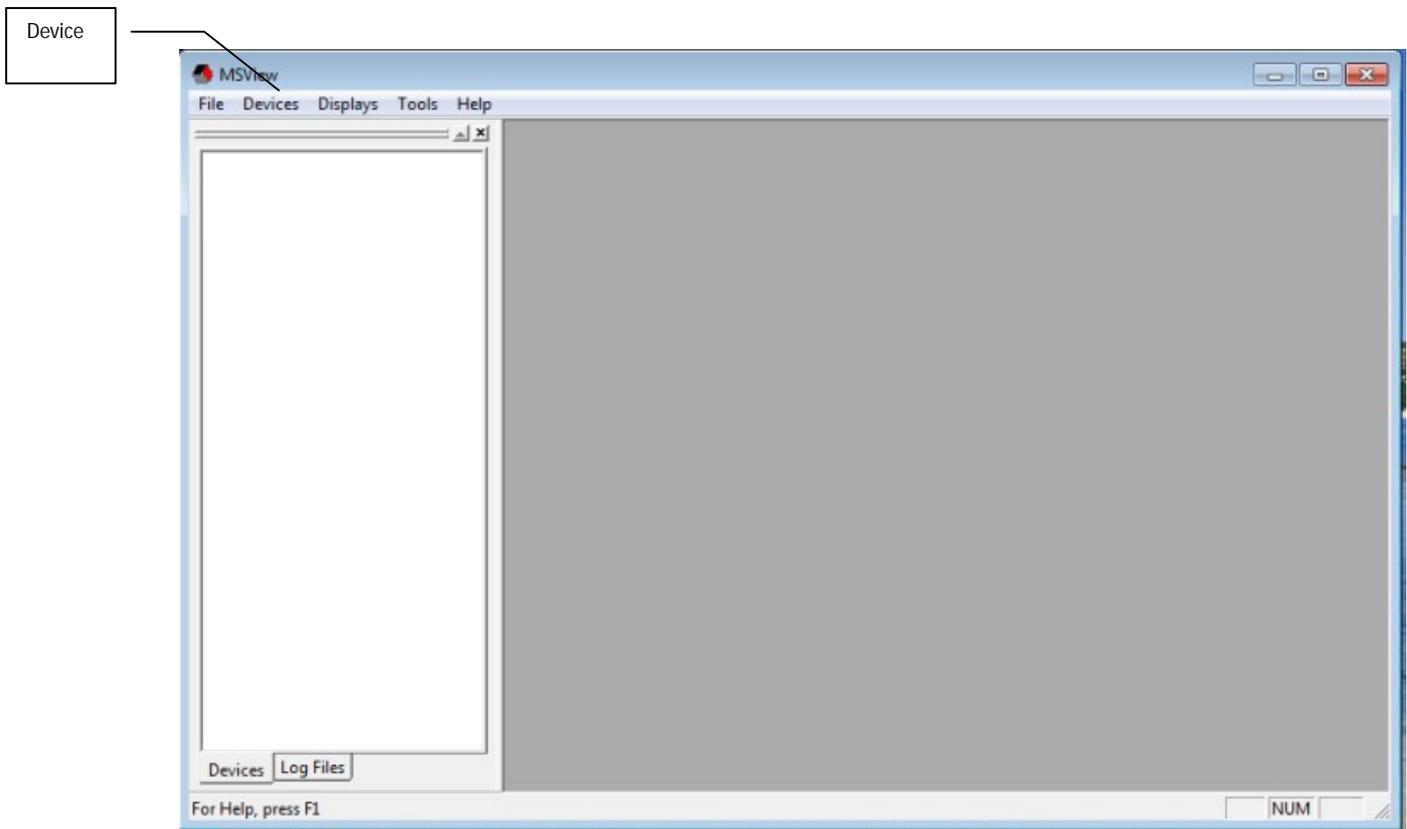
Dans le présent travail, on a traité un thème concernant l'énergie solaire photovoltaïque qui reste le type d'énergie renouvelable le plus répandu en exploitation vue sa caractéristique durable. Une station PV autonome est mise en étude détaillée dans le but de comprendre la chaîne de conversion « soleil-Electricité ». . En effet, nous avons pris en considération le comportement de chacun des éléments constituant le système.

Après avoir décortiqué les constituants physiques du système, On a mené différents tests pour déceler le comportement de chaque partie. Les résultats ainsi recueillies de ces tests, après traitement et analyser nous ont permis de mieux comprendre la fonctionnalité de chaque élément. On n'a pu avoir une idée plus claire sur les performances de cette station PV. Ces graphes démontrent en premier lieu la nature du fonctionnement de l'onduleur qui s'avère être de type multi niveaux dans les sinusoïdes délivrées changes pendant des temps en nombre de niveaux et en largeurs des paliers tous en maintenant une valeur efficace stable selon la variation de la valeur de la tension aux bornes des batteries. Cette dernière est contrôlée en permanence par l'élément de la régulation incorporé dans le circuit du montage.

On ne prétend pas que notre travail est exhaustif mais nous souhaitons que ce travail de recherche a contribué d'une façon ou une autre à faciliter la compréhension du comportement des éléments d'une installation PV isolé qui servira d'une base indispensable pour un meilleur traitement des thèmes liés aux installations Photovoltaïques. Plusieurs thèmes peuvent être entamés sur ce sujet tel que les performances du système selon la variation des conditions climatiques, l'hybridation, performances énergétiques ... etc

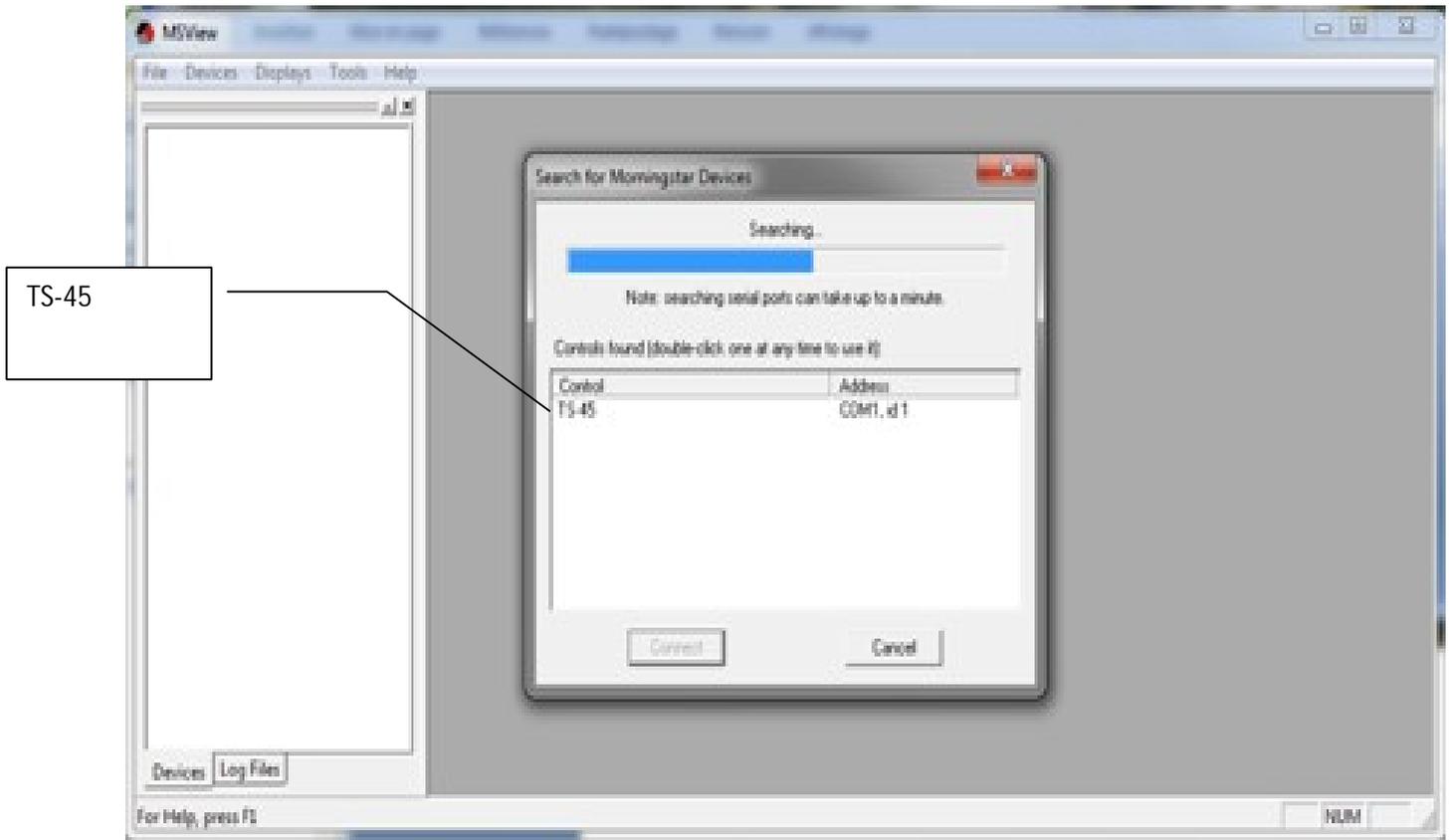
# *Annexes*

**Annexe 01 :**



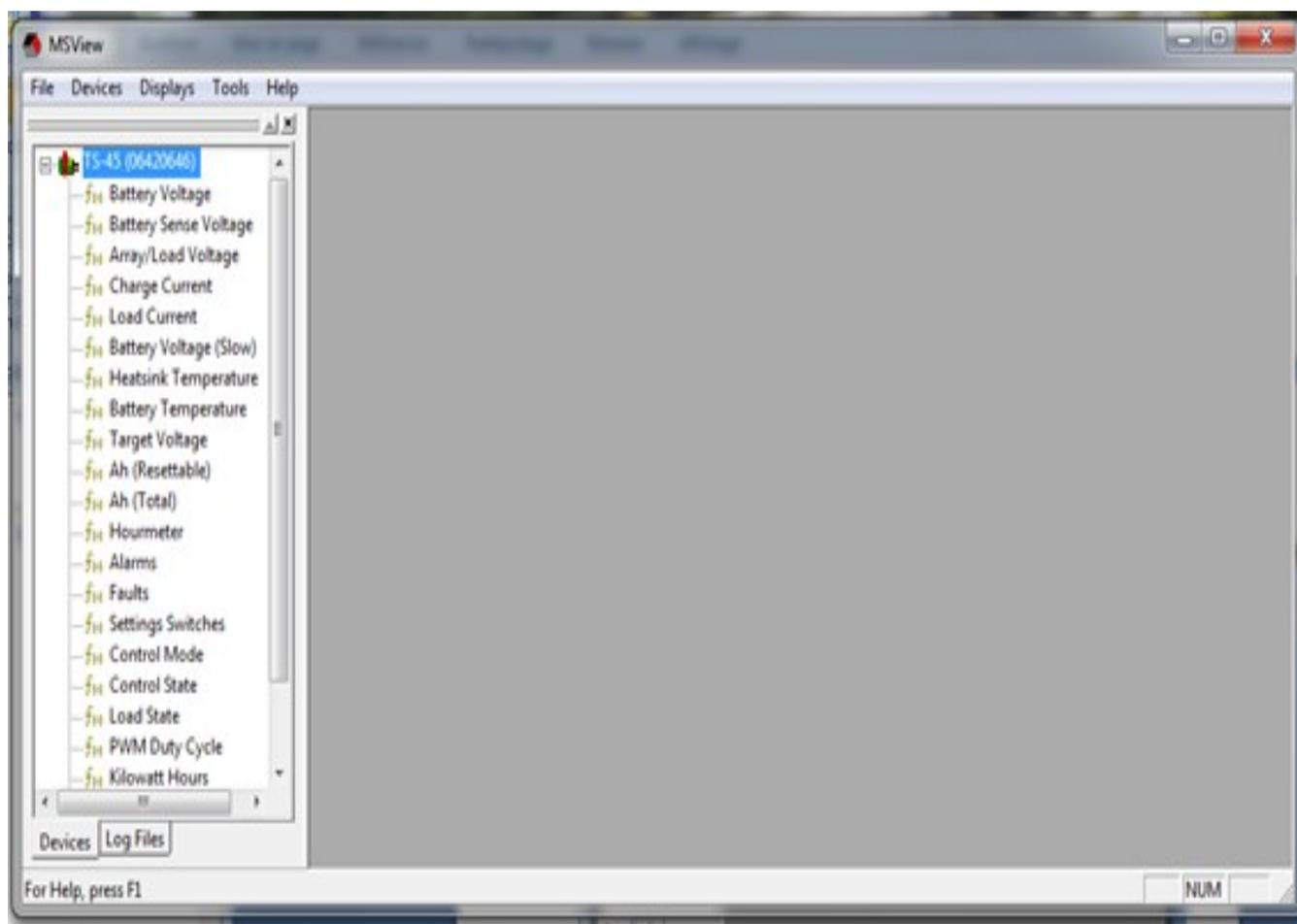
**Figure (4.1) : menu principale du logiciel MSVIEW**

**Annexe 02 :**



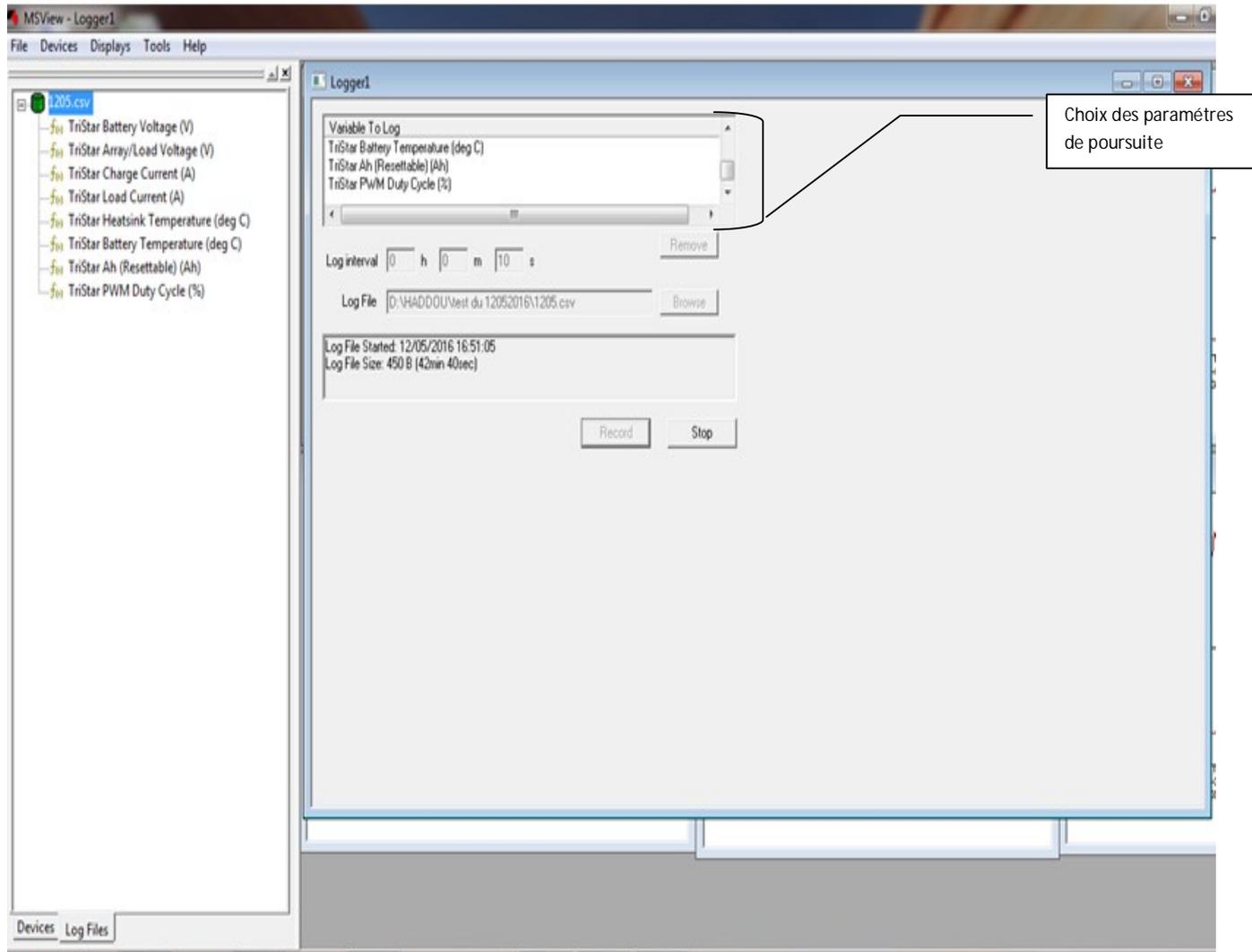
**Figure (4.2) : détection de l'équipement**

**Annexe 03 :**



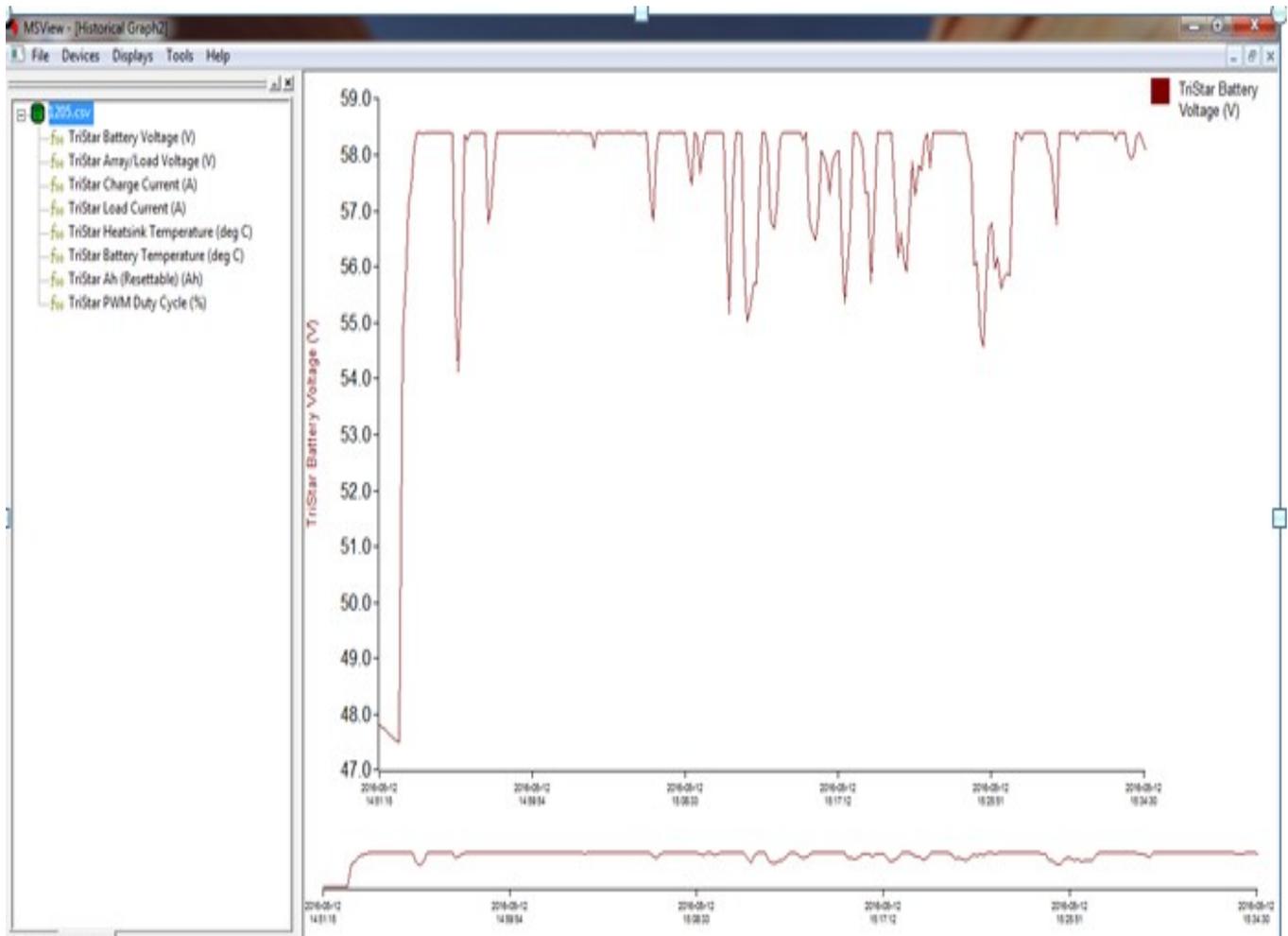
**Figure (4.3) : détection réussi de l'équipement**

**Annexe 04 :**



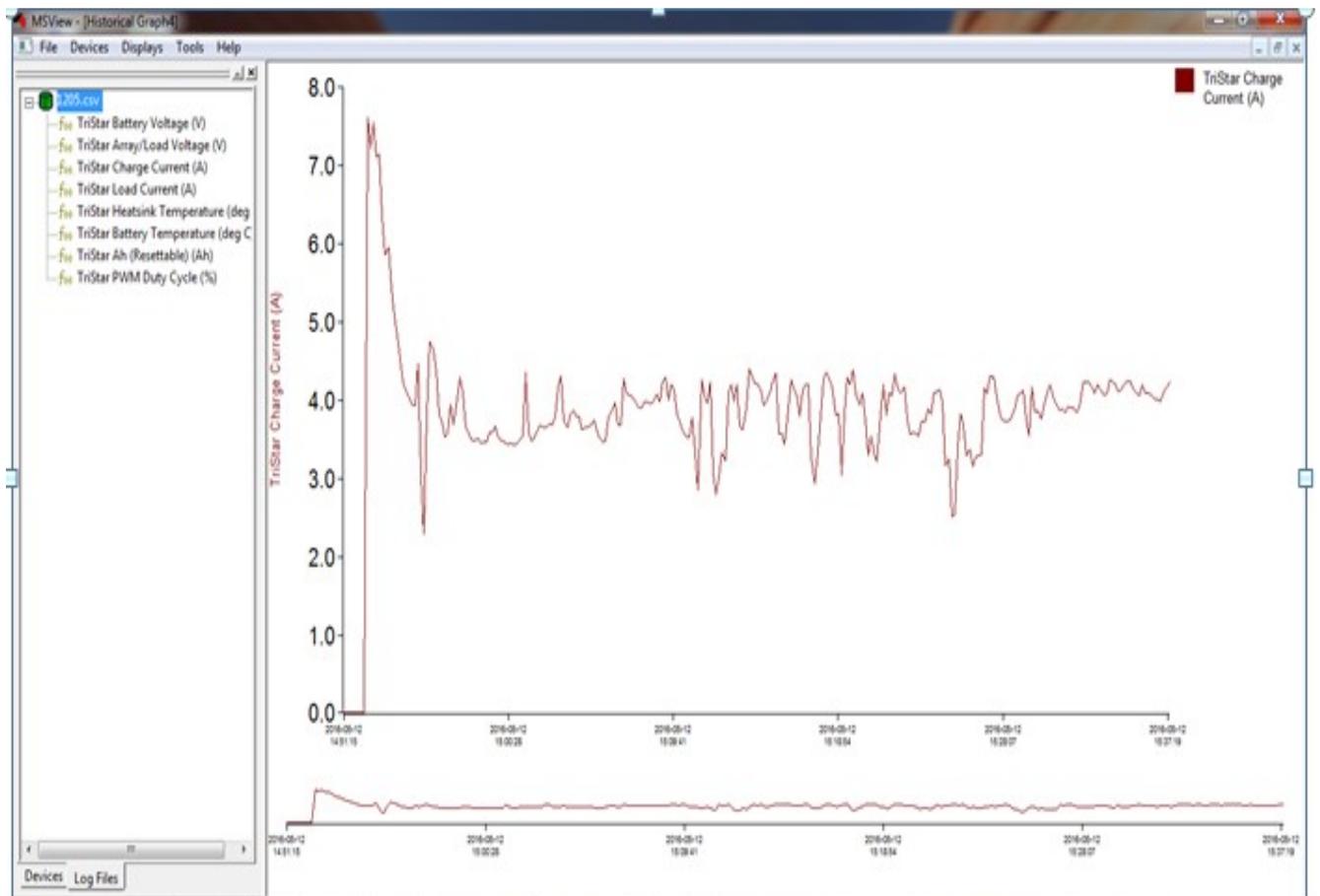
**Figure (4.4) : choix des paramètres désirés**

**Annexe 05:**



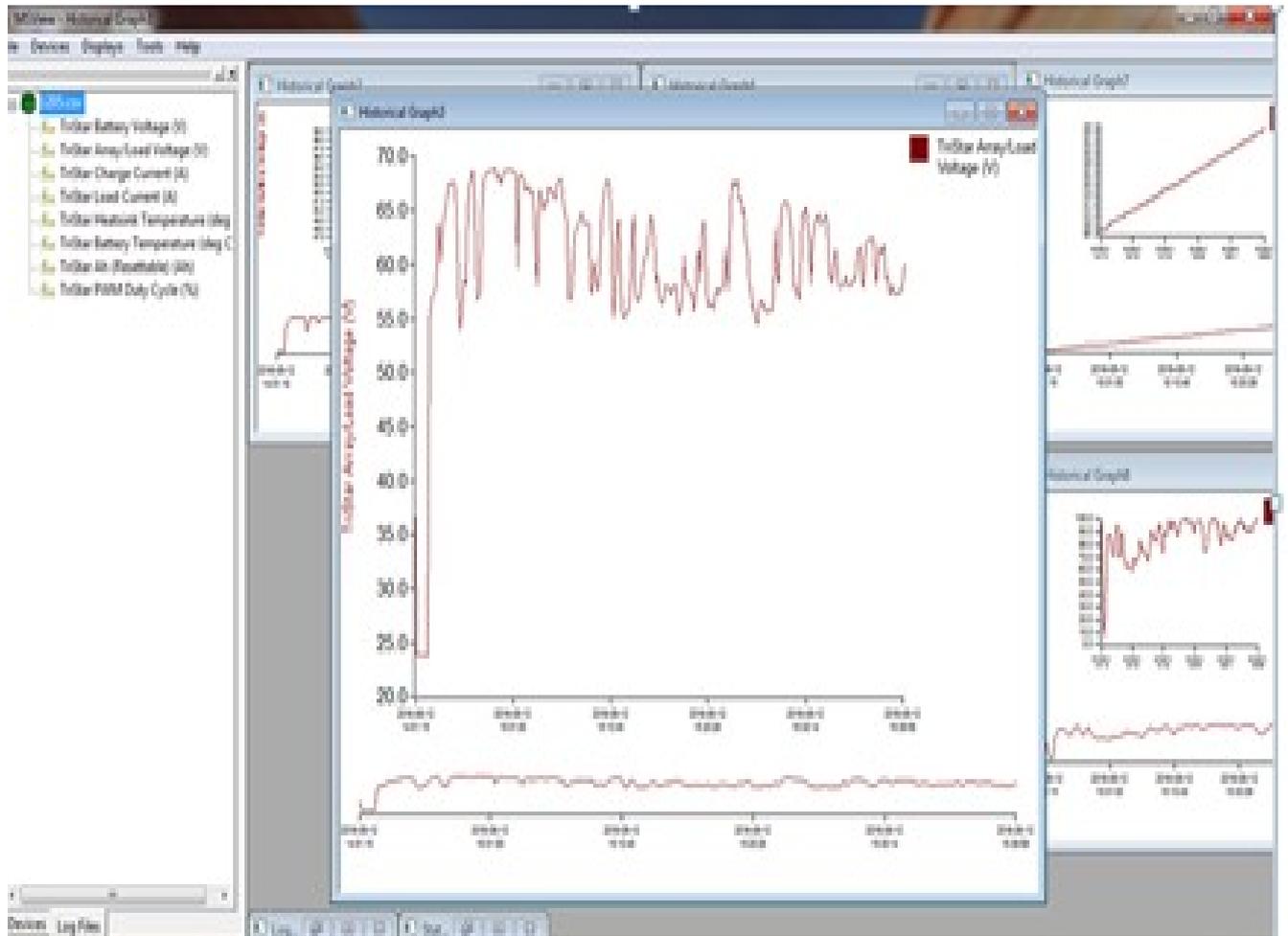
**Figure 4.7 : allure de la fonction : tension de la batterie**

**Annexe 06 :**



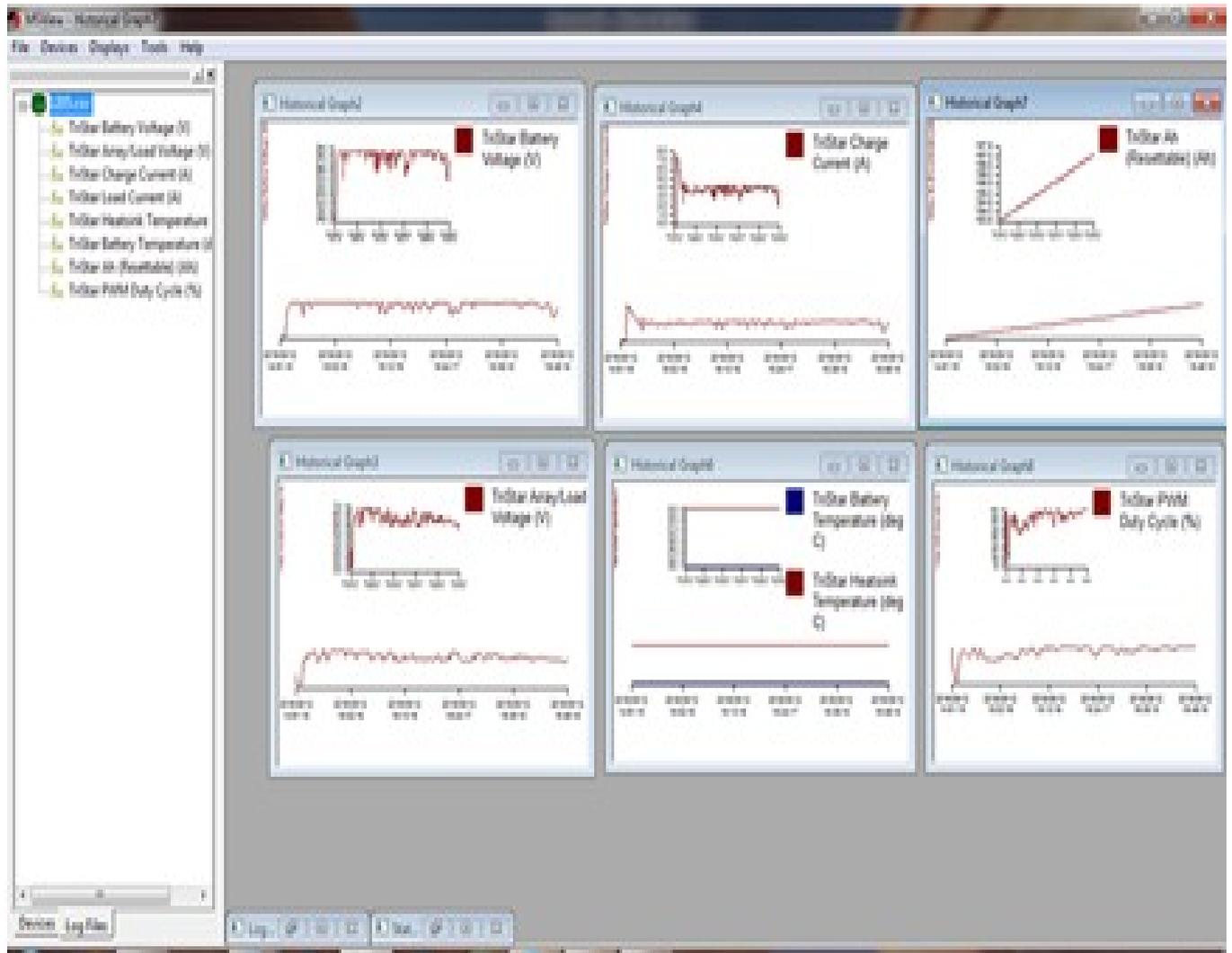
**Figure (4.8) : allure de la fonction : courant de charge**

**Annexe 07 :**



**Figure (4.9) : allure de la fonction : Tension des panneaux**

**Annexe 08 :**



**Figure (4.10) : Disposition globale des fonctions (choisies)**

**Annexe 09 :**

The screenshot shows the MSView software interface. On the left, a tree view shows the device 'TS-45 (06420646)' expanded to show various variables. The main window displays a table with the following columns: Device, Variable, Value, and Units.

Device	Variable	Value	Units
TS-45 (06420646)	Battery Voltage	47.79	V
TS-45 (06420646)	Battery Sense Voltage	0.00	V
TS-45 (06420646)	Array/Load Voltage	23.91	V
TS-45 (06420646)	Charge Current	0.00	A
TS-45 (06420646)	Load Current	0.00	A
TS-45 (06420646)	Battery Voltage (Slow)	47.83	V
TS-45 (06420646)	Heatsink Temperature	33	deg C
TS-45 (06420646)	Battery Temperature	25	deg C
TS-45 (06420646)	Target Voltage	0.00	V
TS-45 (06420646)	Ah (Resettable)	198.50	Ah
TS-45 (06420646)	Ah (Total)	4842.80	Ah
TS-45 (06420646)	Hourmeter	4034	hrs
TS-45 (06420646)	Alarms	RTS Open	
TS-45 (06420646)	Faults	no faults	
TS-45 (06420646)	Settings Switches	OFF/ON/ON/ON/OFF/OFF/ON/OFF	
TS-45 (06420646)	Control Mode	Charge	
TS-45 (06420646)	Control State	Night	
TS-45 (06420646)	Load State	LVD	
TS-45 (06420646)	PWM Duty Cycle	0.78	%
TS-45 (06420646)	Kilowatt Hours		kWh
TS-45 (06420646)	Minimum Battery Voltage		V
TS-45 (06420646)	Maximum Battery Voltage		V

**Figure (4.11) : Visualisation de tous les états poursuivis par l'équipement**

## Résumé

Afin de satisfaire les besoins de l'industrie et des consommateurs et d'accompagner le développement de l'économie moderne, le recours aux énergies renouvelables se voit une solution adéquate à toutes les attentes des utilisateurs. L'énergie solaire photovoltaïque reste la plus exploitée parmi ces énergies, elle provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique basé sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface d'une cellule dite photovoltaïque PV (qui par l'assemblage d'un nombre 'n' de ces dernières forme un module) est exposé à la lumière.

Le recours à cette technologie nécessite d'aborder les sujets : coût, dimension de la source d'énergie, la quantification des batteries, le régulateur et l'onduleur les mieux adaptés, estimation de la quantité d'énergie et à quel moment on en a besoin et enfin le câblage adéquat. Ceci fera l'objet de plusieurs études qui doivent s'étaler chacune d'elles sur l'un des points suscités.

Dans notre travail, nous nous sommes intéressés à un point de particularité majeur qui concerne la connaissance des modes de fonctionnement des éléments constituant un montage photovoltaïque pour un site isolé. Il permet aux intéressés d'acquérir des idées claires de tout ce qui se passe en interfaçage depuis l'incidence d'un rayon lumineux sur le plus petit élément constituant un montage photovoltaïque « cellule PV » jusqu'à l'exploitation de cette énergie électrique produite après conversion et passant par les étages de base à savoir l'onduleur, le régulateur et les batteries de charges .

### ملخص:

يعتبر اللجوء إلى الطاقات المتجددة حلاً مثالياً لأكثر مشاكل العالم إلحاحاً و مواكبة للمتطلبات الصناعية و احتياجات المستعمل . و تعتبر الطاقة الشمسية الأكثر استغلالاً من بين هذه الطاقات حيث يتم توليد الطاقة الكهربائية مباشرة باستخدام الطاقة الحرارية للشمس عبر الظواهر الكهروضوئية باستعمال الخلايا الضوئية الجهدية.

إن التطرق هذه التكنولوجيا يستوجب دراسة قيم التكلفة ، أحجام مكونات الدارة وكذا توقع قيمة الإحتياجات الطاقوية و غيرها مما جعل الكثير من الدراسات تلتف حول ذات الموضوع .

أثناء عملنا ، تطرقنا للتعرف على مكونات دارة توليد الكهرباء عن طريق الطاقة الشمسية للاستفادة المباشرة . و كان تركيزنا على التعرف على دور عمل مكوناتها بدءاً من وقوع الأشعة على الخلايا الشمسية حتى الحمولة إلى جانب دور الأنفرتير و منظم الشحن إضافة لدور و كيفية عمل البطاريات . مما سيوفر فكرة أكثر وضوحاً لكيفية تشغيل دارة للإنتاج الكهربائي بهاته الطريقة.

## Références bibliographiques

- [1] S. BELAKEHAL « Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées a deux Energies Renouvelables », these de Doctorat en sciences université de Constantine 2010
- [2] Cabal Cedric « Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la conversion Photovoltaïque» thèse de Doctorat en génie électrique, université de Toulous 2008
- [3] S.Lahlah « Etude comparative des techniques MPPT perturbation and observation (P&O), Incremental conductance (Inc.CoN) et Hill climbing (H.C) » Mémoire de magistère en electrotechnique université de Batna 2007
- [4] Fabrice Delfosse « Détermination de l'état de charge des batteries d'un véhicule électrique » Fin d'étude d'ingénieur, université de Liège 1998
- [5] H.Benzemamouche « Application de la MLI vectorielle aux onduleurs multiniveaux à base de GTO et d'I G BT», Magister université Annaba 2010
- [6] S.Abeddaim « Etude et simulation d'un convertisseur multiniveaux CC/CA destiné au pompage photovoltaïque », Magister université de Biskra 1999 .
- [7] W.Boucheritte , «Convertisseurs multiniveaux dans les systemes PV connectés au reseau», Magistere en Electrotechnique option : Energies renouvelables, Université de Biskra
- [08] J.F . Walker , N.Jenkins, , «Wind energy technology », John wiley et Sons, Inc. 1997.
- [9] Winjnbergen, «Wind Force 12. A blueprint to achieve 12% of the world's electricity from wind power by 2020», Global Wind Energy Council (GWEC) report, Jun. 2005.
- [10] [www.neal-dz.net](http://www.neal-dz.net)
- [11] [www.erm-energies.com](http://www.erm-energies.com) guide d'installation de système d'alimentation électrique pour site isolé France 2015
- [12] Tristar Régulateur de charge solaire manuel d'installation et d'utilisation
- [13] Onduleur/Chargeur Série SW Manuel de l'Utilisateur, XantrexTechnology, Inc. 2001
- [14] Petit Guide pourétudier un projetd'installation photovoltaïqueDimensionner un parc de Batteries Centre de formation Bwa Toma – AcdedMarigot – Haïti Pierre Teisseire\*Novembre 2003
- [15] M.Belhadj « Modélisation d'un système de captage photovoltaïque autonome » Magistère université de Bechar 2008
- [16] D.Violaine « Les onduleurs pour systemesphotovoltaïques – fonctionnement, etat de l'art et etude des performances» [www.hespul.org](http://www.hespul.org) 2007
- [17] M.ADouhouénon[www.peracod.sn](http://www.peracod.sn)« le manuel du technicien photovoltaïque» ministère ene charge de l'energiesénégal 2011
- [18] M.H.Rashid « Power electronics circuits devices and applications » printice- hall 1988
- [19] M.S.Shahatha et all« Practical evaluation of solat irradiance effect on PV performance » 2013