

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

Réf:.....

Filière : Energies renouvelables

Option : Energie renouvelable solaire photovoltaïque

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme:

MASTER

Thème

Etude de performances d'une centrale PV autonome

Présenté par :

Nom prénom de l'étudiant(s)

Maiche Sid Ahmed et Manaoui Mohamed Bachir

Soutenu le : 30 septembre 2020

Devant le jury composé de :

MrMagherbi Mohamed Chaoki	professeur	Président
MrMoussi Ammar	professeur	Encadreur
MrNaimi djemai	mca	Examineur

Année universitaire : 2019 / 2020

REMERCIEMENT

Nous aimerions connaître notre gratitude envers notre chef de mission, M. Moussi Ammar. Nous le remercions pour sa supervision, les conseils, l'assistance et les conseils pour nous.

Nous remercions sincèrement tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui ont fait face à leurs réflexions avec leurs paroles, écrits, conseils et critiques et ont accepté de nous rencontrer et de répondre à nos questions pendant la recherche.

Nous remercions nos parents, qui ont toujours été à mes côtés, et nous remercions nos frères. . . .

Enfin, nous remercions les amis de la résidence : Houari, Ahmed, Muhammad et Abdessamad, Manel Kinda.

Merci à tous ces fidèles

Résumé

Dans ce travail, le fonctionnement d'une station PV autonome est présenté. On a mis l'accent sur le système de stockage par une surveillance profonde du processus de charge et de décharge des batteries et le fonctionnement du régulateur pour assurer un suivi étroit dans les expériences. Dans ce contexte on essayé de faire un dimensionnement d'un système typique et on observe le comportement des différents éléments constitutifs toute on introduisant des variations sur la source, la charge et la réserve d'énergie (batteries)

Les expériences indiquent qu'un bon dimensionnement permet un fonctionnement fiable du système et des économies lors de la mise en œuvre du system.

Mots clés : Photovoltaïque, module, cellule, régulateur solaire , batteries, système PV, onduleur, module.

Abstract:

In this work, the operation of an autonomous PV station is presented. Emphasis was placed on the storage system by closely monitoring the process of batteries charge and discharge and the operation of the regulator to ensure close monitoring in the experiments. In this context we built up a typical system and we tried to observe the behavior of the various elements while introducing variations on the source, the load and the energy reserve (batteries)

Experiences indicate that correct sizing allows reliable operation of the system and cost savings during system implementation.

Keywords : Photovoltaic, module, cell, solar regulator, batteries, PV system, inverter, module,

الملخص:

في هذا العمل، تم تقديم ودراسة تشغيل محطة كهروضوئية مستقلة المصدر، حيث تم التركيز على نظام التخزين من خلال المراقبة الدقيقة لعملية شحن البطاريات وتفرغها وتشغيل المنظم لضمان المراقبة الدقيقة في التجارب. في هذا السياق، تم حساب نظام كهروضوئي نموذجي وحاولنا مراقبة سلوك العناصر المختلفة أثناء إحداث تغيرات على مستور مصدر التغذية والحمل ووحدة تخزين الطاقة (البطاريات)

تشير التجارب إلى أن التقدير الصحيح لعناصر المحطة يسمح بالتشغيل الموثوق للنظام وتوفير التكاليف أثناء تنفيذ النظام.

الكلمات الدالة: كهروضوئية، وحدة، خلية، منظم للطاقة الشمسية، بطاريات، نظام PV، خاكس،

Liste des abréviations

MLI(PMW) : modulation de largeur d'impulsions(Pulse Width Modulation)

V_{dc} :tension continue

V_{ac} : tension alternative

CC : courant continue

CA : courant alternative

PPM : point de puissance maximum

PV : photovoltaïque

FEM : Force électromotrice

P_c : Puissance Crête

E_c : Energie consommé

Sommaire

Liste des abréviations.....	V
Liste de figures.....	VIII
Liste de Tableaux.....	X
Liste de Courbes.....	XI
Introduction générale :	XIII
1 Chapitre /01 Composantes du système photovoltaïques.....	15
1.1 Introduction:	15
1.2 Générateur photovoltaïque:	15
1.2.1 Définition:.....	15
1.2.2 L'effet photovoltaïque:.....	15
1.2.3 Description d'un panneau photovoltaïque	15
1.2.4 Les différents semi-conducteurs:	16
1.2.5 Caractéristiques courant / tension d'un panneau :.....	17
1.3 Le convertisseur DC/DC :.....	18
1.3.1 Définition d'un hacheur:	18
1.3.2 Les applications de l'hacheur dans l'industrie :.....	18
1.3.3 Les types du hacheurs:	19
1.4 Régulateur de système solaire TRISTAR TS-M :	29
1.4.1 Description du TriStar.....	29
1.4.2 Usage général.....	30
1.4.3 Installation du TriStar :	30
1.4.3.1.7 Spécifications Techniques	37
1.5 Généralité sur le stockage d'énergie :.....	39
1.5.1 Définition :.....	39
1.5.2 L'importance du stockage électrique	39
1.5.3 Les caractéristiques d'un système de stockage	39
1.5.4 Stockage électrochimique:.....	40
1.5.5 Définition de stockage électrochimique	40
1.5.6 Accumulateurs électrochimiques.....	41
1.5.7 Les technologies Accumulateurs :.....	42
1.5.8 Les batteries solaires:.....	48
1.6 Commande PMW:	54
1.6.1 Définition :.....	54
1.7 Onduleur:.....	59
1.7.1 Concept technique des onduleurs photovoltaïques :	60
1.7.2 Classification des onduleurs:.....	61
1.7.3 Fonctionnement d'onduleur SW3048E:	69
1.8 Conclusion:.....	73
2 Chapitre : 02 /Dimensionnement manuel et installation d'un système PV autonome	75
2.1 Introduction:	75
2.2 L'évaluation du besoin énergétique du site :.....	75

2.2.1	Définition des besoins électrique:.....	75
2.2.2	Guide pour l'évaluation du besoin énergétique :.....	75
2.2.3	L'évaluation du gisement solaire local :	76
2.2.4	Dimensionnement des éléments d'installation PV autonome :.....	77
2.2.5	Dimensionnement de système qui nous faisait notre étude :	81
2.3	Conclusion:.....	85
3	Chapitre : 03 /Cycle de charge des batteries	87
3.1	Introduction:	87
3.2	Description de système appliqué:.....	87
3.3	Le cycle de charge des batteries :	88
3.3.1	Définition de cycle de charge :	88
3.3.2	La profondeur de décharge:.....	88
3.3.3	La caractéristique de charge de batterie plomb-acide 100Ah :	88
3.3.4	L'importance de dimensionnement:	96
3.3.5	La décharge des batteries :	100
3.4	Conclusion:.....	103
	Conclusion générale :	104
	Références	105

Chapitre : 01

Figure 1.01 : L'effet photovoltaïque

Figure 1.02 : La jonction PN

Figure 1.03 : module au silicium amorphe

Figure 1.05 : module au silicium polycristallin

Figure 1.06 : module au silicium monocristallin

Figure 1.07 : Conventions de dénomination des composants, du courant et de la tension dans un convertisseur abaisseur

Figure 1.08 : schéma d'un convertisseur Boost

Figure 1.09 : schéma de fonctionnement d'une convertisseur boost dans la phase 1

Figure 1.10 : schéma de fonctionnement d'un convertisseur boost dans la phase 2

Figure 1.11 : convertisseurs DC/DC abaisseur-élevateur

Figure 1.12 : réalisation d'alimentation symétrique (split supply) à partir d'une alimentation simple

Figure 1.13 : l'installation pour la charge solaire et pour le contrôle de l'appel de puissance

Figure 1.14 : Commutateurs n 2, 3

Figure 1.15 : Commutateurs n 4, 5, 6

Figure 1.16 : Commutateur no 7

Figure 1.17 : Commutateur no 8

Figure 1.18 : Cartographie des moyens de stockage stationnaire d'électricité selon leurs temps de décharge et puissance typiques [4]

Figure 1.19 : Structure d'un générateur électrochimique

Figure 1.20 : Accumulateur au plomb « charge décharge d'accumulateur »

Figure 1.21 : Décharge d'un accumulateur

Figure 1.22 : Accumulateur déchargé, Charge d'accumulateur

Figure 1.23 : Charge d'un accumulateur

Figure 1.24 : Accumulateur Nickel-Cadmium

Figure 1.25 : Décharge d'accumulateur NiMh

Figure 1.26 : Charge d'accumulateur NiMh

Figure 1.27 : symbole de filtrage

Figure 1.28 : Chaîne de conversion photovoltaïque

Figure 1.29 : Montage de base d'un onduleur photovoltaïque

Figure 1.30 : Schéma de principe de l'onduleur monophasé

Figure 1.31 : Schéma d'onduleur de tension triphasé

Figure 1.32 : Structure monophasée ($d=1$) d'un onduleur cascade à deux cellules

Figure 1.33 : Topologie d'un convertisseur symétrique à cinq niveaux (une seule phase)

Figure 1.34 : Topologie d'un convertisseur asymétrique à neuf niveaux (une seule phase)

Figure 1.35 : Schéma Fonctionnel Simplifié de l'Onduleur Série SW Trace

Chapitre : 02

Figure 2.01 : Les caractéristiques de panneau utilisé dans notre système

Chapitre : 03

Figure 3.01 : schéma de fonctionnement de système PV autonome

Figure 3.02 : Régulateur Morningstar (tristar TS60)

Figure 3.03 : Le banc des batteries utilisé

Figure 3.04 : L'onduleur xantrex SW3048E

Figure 3.05 : Le programme MSview

Figure 3.06 : La liste des chaines (9 chaines fonction et 1 non fonction pas)

Chapitre : 01 :

Tableau 1.01 : Tension du système

Tableau 1.02 : commande de tension de charge PWM

Tableau 1.03 : l'algorithme de charge

Tableau 1.04 : Les caractéristiques nominales de batterie solaire étanches 100 ah

Tableau 1.05 : Deux cellules à ponts complets (5 niveaux)

Tableau 1.06 : Deux cellules à ponts complets (7 niveaux)

Tableau 1.07 : Deux cellules à ponts complets (9 niveaux)

Chapitre : 02 :

Tableau 1.01 : besoin d'énergie dans un jour de notre système

Chapitre : 01 :

- Courbe 1.01 :** Caractéristiques courant / tension d'un panneau
- Courbe 1.02 :** courbe de tension V_L et de courant i_a
- Courbe 1.03 :** Courbes des courants i_L , i_i , i_D
- Courbe 1.04 :** de tension V_L et de courant i_a
- Courbe 1.05 :** courbe de DNI de convertisseur Buck
- Courbe 1.06 :** courbe de tension V_L et de courant i_L d'un convertisseur boost
- Courbe 1.07 :** courbes des courants i_L, i_K, i_D d'un convertisseur boost
- Courbe 1.08 :** courbe de DNI d'un convertisseur boost
- Courbe 1.09 :** courbes de tension V_L et de courant i_L d'un convertisseur buck-boost
- Courbe 1.10 :** courbe des courant i_K, i_L, i_C d'un convertisseur buck-boost
- Courbe 1.11 :** courbe de DNI d'un convertisseur buck-boost
- Courbe 1.12 :** courbes de V_L et i_L
- Courbe 1.13 :** courbe d'impulsion
- Courbe 1.14 :** le rapport cyclique de commande PWM
- Courbe 1.15 :** courbe de filtrage
- Courbe 1.16 :** Courbes de charge
- Courbe 1.17 :** forme d'onde d'un convertisseur multinationaux
- Courbe 1.18 :** Onde Sinusoïdale de Sortie de l'Onduleur Série SW
- Courbe 1.19 :** Courbes de Rendement Série SW Trace
- Courbe 1.20 :** Capacité de l'Onduleur contre Température – Dérive Thermique pour les Onduleurs Série SW
- Courbe 1.21 :** Charge à Trois Phases de la Batterie

Chapitre : 02 :

- Courbe 2.01 :** distribution temporelle de la puissance consommée dans un journée
- Courbe 2.02 :** courbe de radiation dans le jour 6 septembre 2020

Chapitre : 03 :

- Courbe 3.01 :** 1^{er} essai Courbes de tension des 4 batteries

Courbe 3.02 :2éme essai Courbe de tension de 8 batteries

Courbe 3.03 :3eme essai Courbes de tension de 12 batteries

Courbe 3.04 :1er essai Courbes de tension de champ PV

Courbe 3.05 : 2eme Courbes de tension champ PV

Courbe 3.06 :3eme essai courbes de tension de champ PV

Courbe 3.07 :1er essai Courbes de Courant de charge de 4 batteries (1 chaine)

Courbe 3.08 :2eme essai Courbes de Courant de charge de 8 batteries (2 chaines)

Courbe 3.09 :3eme essai Courbes de Courant de charge de 8 batteries (2 chaines)

Courbe 3.10 :1er essai Courbe de cycle de service PWM

Courbe 3.11 :2eme essai Courbe de cycle de service de PWM

Courbe 3.12 :3eme essai Courbe de cycle de service de PWM

Courbe 3.13 : La tension des batteries

Courbe 3.14 : la tension générée par le champ PV

Courbe 3.15 : le courant de charge

Courbe 3.16 : le cycle de service de PWM pendant l'expérience

Courbe 3.17 : Courbe de tension de champ PV

Courbe 3.18 : Courbe de courant de charge

Courbe 3.19 : Courbe de PWM duty

Courbe 3.20 : la variation de tension des batteries de 15:07 à 15:27

Courbe 3.21 : la tension des batteries entre 15h30 et 15h55

Courbe 3.22 : courbe de tension du batteries de 16:09 à 16:20

Courbe 3.23 : tension de la batterie

Introduction générale :

En raison du développement technologique intervenu depuis le début du XXe siècle, l'électricité est devenue une partie importante de la vie humaine, et plus encore, qu'elle en est venue à déterminer le niveau de bien-être des citoyens à travers l'énergie moyenne consommée par habitant et par an. À la lumière de cette évolution, le monde a été contraint de trouver des sources d'énergie électrique.

Le carburant est une option polluante pour l'atmosphère, et l'électricité n'est produite à travers lui que dans de grandes capacités et d'énormes réseaux de distribution. La plupart des villages et entreprises isolés ne sont pas connectés aux réseaux.

Les spécialistes ont été contraints de trouver d'autres alternatives, y compris les énergies renouvelables de toutes sortes.

L'énergie solaire est l'une de ces alternatives. Pour exploiter cette énergie, il existe plusieurs systèmes, qu'ils soient indépendants ou connectés au réseau. Pour connecter ces villages et ces communautés isolées, il existe un système PV autonome qui tire parti de la conversion directe de la lumière du soleil en électricité.

Le système photovoltaïque a des caractéristiques et des inconvénients, l'un de ses inconvénients est qu'il n'y a pas de soleil la nuit et qu'il faut donc stocker l'énergie produite pendant la journée pour être utilisée la nuit, ce qui pose le problème des batteries chimiques qui perdent leurs propriétés après chaque cycle de charge et de décharge. Les spécialistes du système photoélectrique ont mené plusieurs expériences pour développer une batterie qui vit plus longtemps, appelée batterie solaire.

Dans notre travail, nous étudierons le comportement de la batterie solaire dans un système PV autonome :

- Partie 1 : nous avons réalisé une étude documentaire sur les composantes du système photovoltaïque et défini ses caractéristiques avec une définition de : Panneau photovoltaïque, régulateur solaire, Batteries solaires, onduleur autonome.
- Partie 2 : Notre travail était centré sur la définition des dimensionnements du système PV pour savoir combien d'énergie nous consommons par jour et le développement d'un système qui répond à nos besoins. Et nous avons fait un dimensionnement pour le système sur lequel nous allons exécuter l'application pratique.
- Partie 3 : Avec l'aide de MSVIEW :

Nous avons suivi l'évolution de la charge de la batterie et la tension du champ PV. Nous avons extrait la courbe de contrôle pwm et le courant de charge.

Nous avons suivi le cycle de déchargement avec plusieurs charges, que nous avons changé en fonction de la capacité de chaque charge

Chapitre 01

1 Chapitre /01 Composantes du système photovoltaïques

1.1 Introduction:

Pour exploiter l'énergie électrique produite par le système photovoltaïque, il faut ajouter des composants à ce système, pour bien les utiliser et les exploiter, il faut connaître leurs caractéristiques. Les batteries solaires, les régulateurs et les onduleurs sont les composants les plus importants que nous devrions connaître.

1.2 Générateur photovoltaïque:

1.2.1 Définition:

Dispositif transformant l'énergie de la lumière en électricité. Il utilise l'effet photoélectrique, par lequel un photon incident (la lumière, donc) peut arracher un électron à un atome.

1.2.2 L'effet photovoltaïque:

L'effet photovoltaïque est la capacité de matériaux, appelés semi-conducteurs, à transformer la lumière du soleil en électricité. Lorsque les photons, contenus dans la lumière solaire, atteignent un matériau semi-conducteur, ils mettent en mouvement les électrons du matériau. C'est ce mouvement qui constitue le courant électrique continu. Ce n'est donc pas la chaleur du soleil mais sa lumière qui produit de l'énergie. Il n'y a pas non plus de pièce mécanique dans un panneau solaire photovoltaïque, mais uniquement des modules photovoltaïques en matériau semi-conducteur.

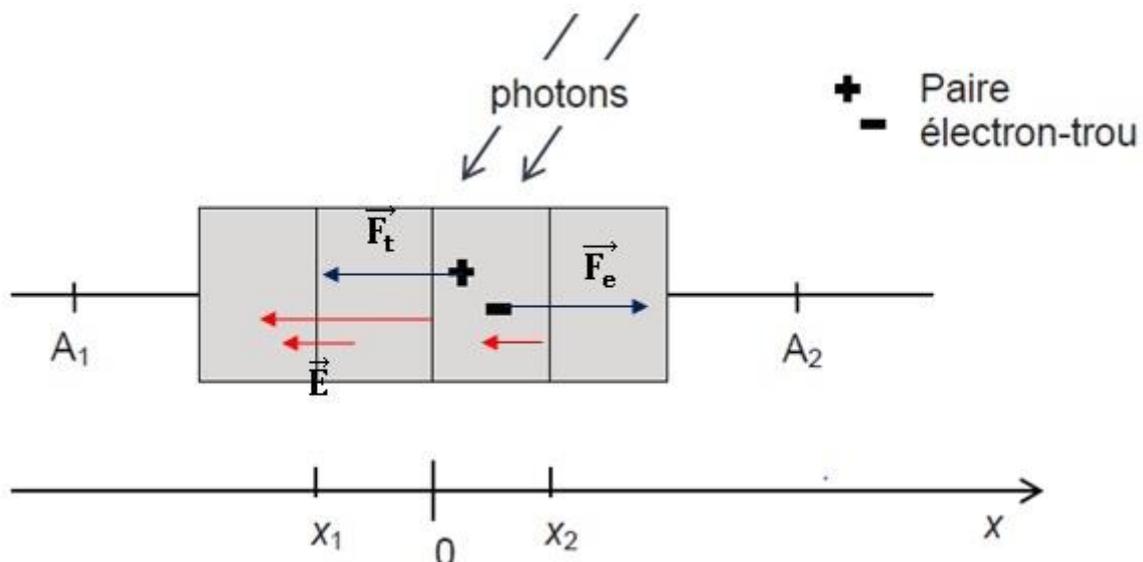


Figure 1.01 : L'effet photovoltaïque

1.2.3 Description d'un panneau photovoltaïque

Un panneau photovoltaïque est constitué d'une série de cellules photovoltaïques, formées d'un matériau semi-conducteur en deux couches,

l'une dopée positivement (P) et l'autre négativement (N). C'est une jonction PN. Lorsqu'un électron est arraché, il se forme à la place un « trou », se comportant comme une charge positive.[9]

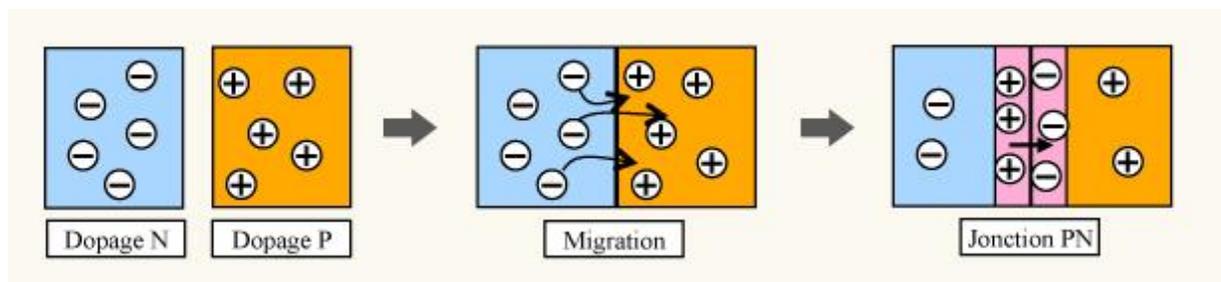


Figure 1.02 : La jonction PN

1.2.4 Les différents semi-conducteurs:

Il existe différents types de cellules et de procédés de fabrication. Le semi-conducteur le plus utilisé est le silicium. La performance se mesure d'abord par le rendement : pourcentage de l'énergie lumineuse effectivement transformée en électricité. Dans les panneaux vendus dans le commerce, on trouve, du moins cher au plus cher :

- Le silicium amorphe ;
- Le silicium polycristallin ;
- Le silicium monocristallin.



Figure 1.03 : module au silicium amorphe

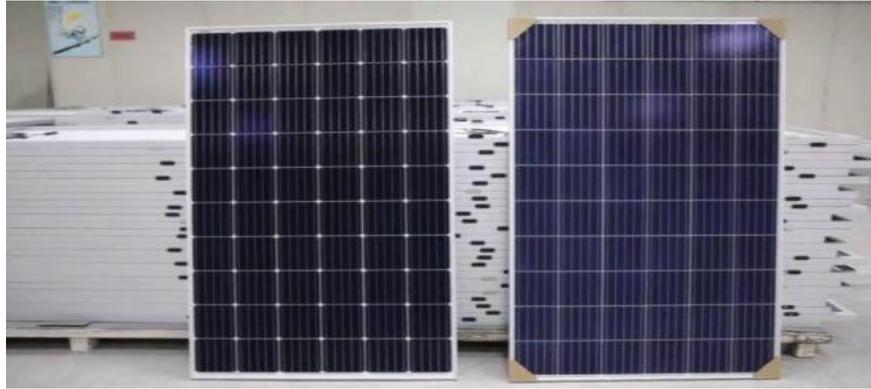


Figure 1.05 : module au silicium polycristallin



Figure 1.06 : module au silicium monocristallin

1.2.5 Caractéristiques courant / tension d'un panneau :

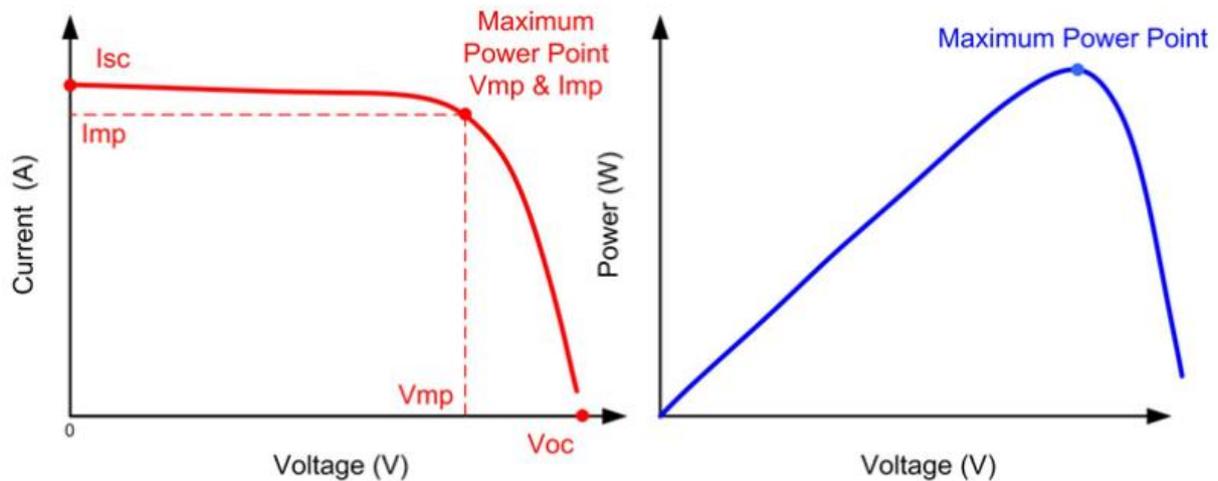
Voici à quoi ressemble la caractéristique électrique d'un panneau solaire :

V_{oc} : tension circuit ouvert (Open Circuit) indique la tension présente aux bornes du panneau quand il n'est pas branché.

I_{sc} : courant de court-circuit (Shorted Circuit) indique le courant max que peut délivrer le panneau.

Le Point de Puissance Maximum (PPM ou MPP en anglais) sur cette courbe correspond au produit de 2 valeurs particulières qui sont :

- le courant de puissance maximale noté I_{mpp} (ou I_{ppm})
- la tension de puissance maximale notée V_{mpp} (ou V_{ppm}). [10]



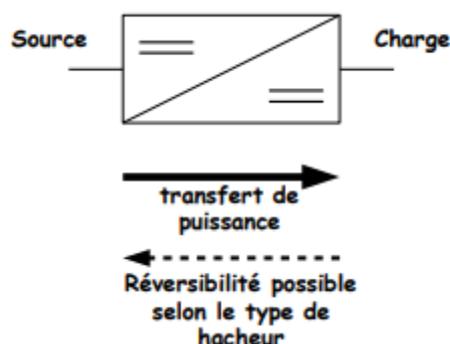
Courbe 1.01 : Caractéristiques courant / tension d'une cellule PV

1.3 Le convertisseur DC/DC :

1.3.1 Définition d'un hacheur:

L'hacheur ou convertisseur continu - continu est un dispositif de l'électronique de puissance mettant en œuvre un ou plusieurs interrupteurs commandés et qui permet de modifier la valeur de la tension d'une source de tension continue avec un rendement élevé. Le découpage se fait à une fréquence très élevée ce qui a pour conséquence de créer une tension moyenne. C'est l'analogue, pour les sources de tensions continues, du transformateur utilisé en régime alternatif.

Son symbole normalisé est :



Si la tension délivrée en sortie est inférieure à la tension appliquée en entrée, l'hacheur est dit dévolteur. Dans le cas contraire, il est dit survolteur. Il existe des hacheurs capables de travailler des deux manières (Boost-Buck). [11]

1.3.2 Les applications de l'hacheur dans l'industrie :

L'hacheur est principalement utilisé pour :

- La variation de vitesse d'un moteur à courant continu

- Le freinage par récupération
- Dans les systèmes PV (régulateur du charge)
- Alimentation d'appareil électronique grand public (PC, ...)

1.3.3 Les types du hacheurs:

1.3.3.1 Hacheur buck:

Un hacheur série (Buck), est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible valeur. Un convertisseur Buck bien conçu possède un fort rendement (jusqu'à 95 %) et offre la possibilité de réguler la tension de sortie.

✚ Fonctionnement :

C'est le montage le plus simple et le plus ancien. On dit qu'il s'agit d'un hacheur à un bras.

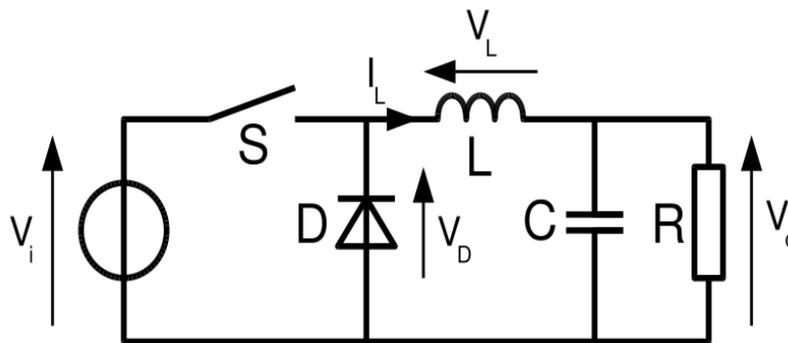


Figure 1.07 : Conventions de dénomination des composants, du courant et de la tension dans un convertisseur abaisseur

Il permet de relier une entrée de type « v » (qui n'a pas de discontinuité de tension) à une sortie de type « i » (qui n'a pas de discontinuité de courant). C'est un hacheur « Un quadrant » qui n'a aucune réversibilité. L'énergie ne peut circuler que de l'entrée vers la sortie. Il ne comprend qu'un seul interrupteur commandé et une diode de roue libre. Cependant ce transfert est réglable. Le paramètre de réglage est le rapport cyclique de la commande de l'interrupteur. Nous allons voir que ce hacheur est de type abaisseur, la tension de sortie étant toujours inférieure à la tension d'entrée.

L'interrupteur fonctionne périodiquement. la période de « hachage » est notée T et f la fréquence correspondante. Il est fermé de $t = 0$ à $t = aT$ et ouvert de $t = aT$ à T . (a est le rapport cyclique). Lorsque l'interrupteur est fermé, l'entrée est directement reliée à la sortie. Lorsqu'il est ouvert, entrée et sorties fonctionnent indépendamment. L'entrée est ouverte, la sortie est en court-circuit grâce à la diode de roue libre qui assure la continuité du courant de l'inductance.

Soit le courant est suffisant, il est non interrompu tout au long de la période et elle se décompose en deux phases :

- 1) $0 < t < \alpha T$ K fermé, D bloquée, phase active,
- 2) $\alpha T < t < T$ K ouvert, D passante, phase de roue libre.

Soit le courant n'est pas suffisant et il s'interrompt avant la fin de la période qui se décompose en trois phases :

- 1) $0 < t < \alpha T$ K fermé, D bloquée, phase active,
- 2) $\alpha T < t < \beta T$ K ouvert, D passante, phase de roue libre,
- 3) $\beta T < t < T$ K ouvert, D bloquée, phase de repos.

Le cas de courant suffisant :

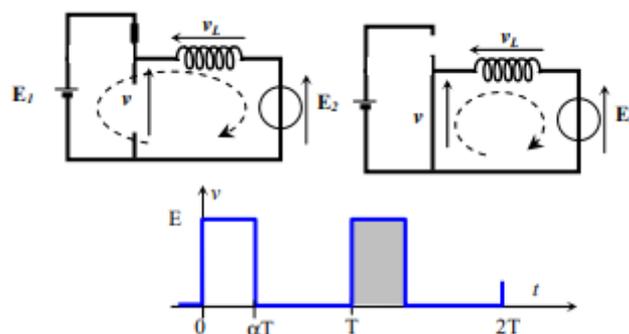
Phase active : $0 < t < \alpha T$ K fermé

Si K fermé, alors $v = E_1 > 0$, donc D bloquée

Roue libre : $\alpha T < t < T$ K ouvert

Si K ouvert mais $i_L \neq 0$, alors D passante,

Donc $v = 0$



Calculons la valeur moyenne de V_D :

$$V_{D\text{moy}} = \alpha E_1$$

La loi des mailles donne par ailleurs :

$$V = V_L + E_2$$

Si nous calculons à nouveau la moyenne de v_D , en considérant que la moyenne d'une somme est la somme des moyennes et que la moyenne d'une constante est égale à cette constante alors :

$$V_{\text{moy}} = V_{L\text{moy}} + E_2 = 0 + E_2$$

La valeur moyenne de la tension aux bornes d'une bobine étant toujours nulle en régime périodique, en identifiant les résultats nous avons :

$$E_2 = \alpha E_1$$

Comme α est réglable entre 0 et 1, la tension de sortie devient réglable entre 0 et E_1

Le montage est abaisseur de tension.

Déterminons l'allure de V_L afin de calculer le courant dans la bobine.

Dans la phase active

$$V_L = E_1 - E_2 = (1 - \alpha) E_1$$

C'est une constante positive. Le courant croît linéairement avec une pente :

$$(1 - \alpha) E_1 / L$$

En notant i_0 la valeur de i_L à $t = 0$ le courant sera

$$\text{Régit par : } i_L = i_0 + (1 - \alpha) E_1 t / L$$

A la fin de cette phase il atteint la valeur $i_\alpha = i_0 + (1 - \alpha) E_1 \alpha T / L$

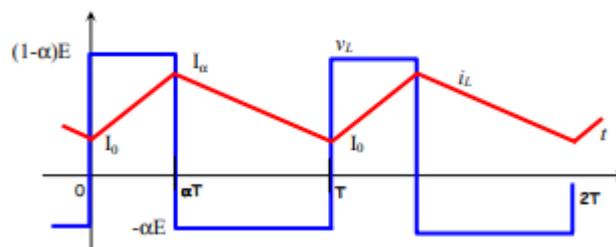
Dans la phase de roue libre

$$V_L = -E_2 = -\alpha E_1$$

C'est une constante négative. Le courant décroît linéairement avec une pente

$$-\alpha E_1 / L$$

A la fin de cette phase il reprend la valeur i_0



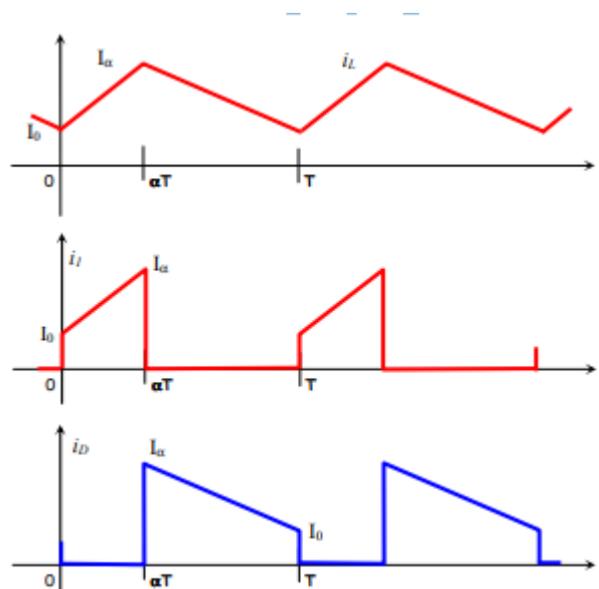
Courbe 1.02 : courbe de tension V_L et de courant i_α de convertisseur buck

Le courant dans la bobine fluctue entre i_0 et i_α , l'ondulation de courant vaut donc :

$$\Delta i = i_\alpha - i_0 = (1 - \alpha) E_1 \alpha T / L$$

Elle est nulle lorsque a vaut 0 ou 1 et elle est maximale lorsque $a = 0,5$ ainsi :
 $\Delta i_M = E_1 T/4L$

Les chronogrammes des divers courants dans le montage s'obtiennent simplement (la loi des nœuds en entrée donnant $i_L = i_1 + i_D$)

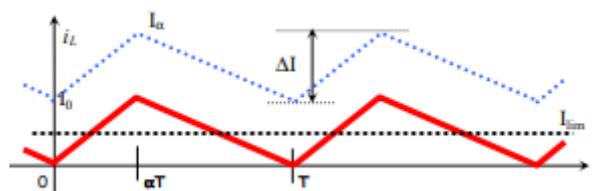


Courbe 1.03 : Courbes des courants i_L , i_1 , i_D de convertisseur buck

Plus le courant d'utilisation i_L est important plus i_a et i_0 augmentent, par contre l'écart Δi , entre ces deux valeurs reste constant. On peut calculer facilement i_0 et i_a en notant que $i_{Lmoy} = \frac{1}{2} (i_0 + i_a)$ donc

$$i_0 = i_{Lmoy} - \frac{1}{2} \Delta i_L \text{ et } i_a = i_{Lmoy} + \frac{1}{2} \Delta i_L$$

Si i_a et i_0 augmentent lorsque le courant d'utilisation augmente, ils diminuent lorsque ce dernier diminue. Le cas limite est obtenu lorsque $i_0 = 0$ (et $i_a = \Delta i$)



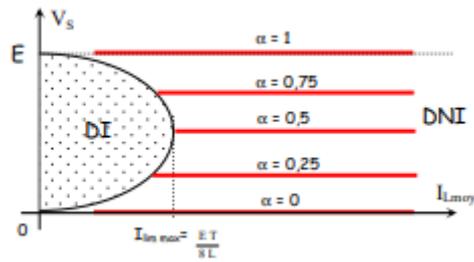
Courbe 1.04 : courbe d'ondulation Δi de convertisseur buck

Dans ce cas, i_{Lmoy} vaut donc $\frac{1}{2} \Delta i$ soit donc :

$$i_{LIM} = (1 - a) E aT/2L$$

A plus grande valeur est obtenue lorsque $a = 0,5$ et vaut : $i_{lim \max} = ET/8L$

Nous pouvons tracer l'évolution de E_2 en fonction de i_{Lmoy} (courbes paramétrées par a) [12]



Courbe 1.05 : courbe de DNI de convertisseur buck

1.3.3.2 Hacheur boost

Un convertisseur Boost (ou Step-Up en anglais), ou hacheur parallèle, est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus forte valeur.

✚ Fonctionnement :

Le fonctionnement d'un convertisseur Boost peut être divisé en deux phases distinctes selon l'état de l'interrupteur K :

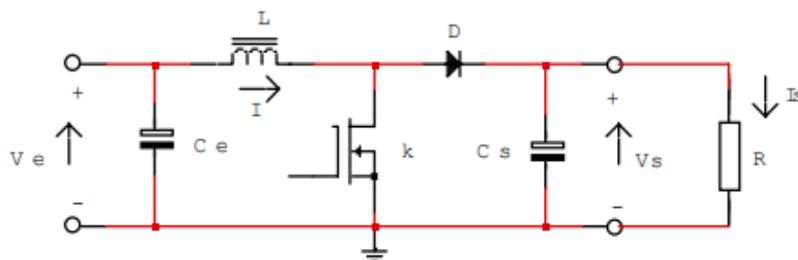


Figure 1.08 : schéma d'un convertisseur Boost

- Une phase d'accumulation d'énergie : lorsque l'interrupteur K est fermé (état passant), cela entraîne l'augmentation du courant dans l'inductance donc le stockage d'une quantité d'énergie sous forme d'énergie magnétique. La diode D est alors bloquée et la charge est alors déconnectée de l'alimentation.
- Lorsque l'interrupteur est ouvert, l'inductance se trouve alors en série avec le générateur et sa f.e.m. s'additionne à celle du générateur (effet survolteur). Le courant traversant l'inductance traverse ensuite la diode D, le condensateur C et la charge R. Il en résulte un transfert de l'énergie accumulée dans l'inductance vers la capacité.

1) Phase 1 ($0 < t < \alpha T$)

L'interrupteur S est fermé, la diode D est bloquée. Le schéma équivalent du circuit est suivant :

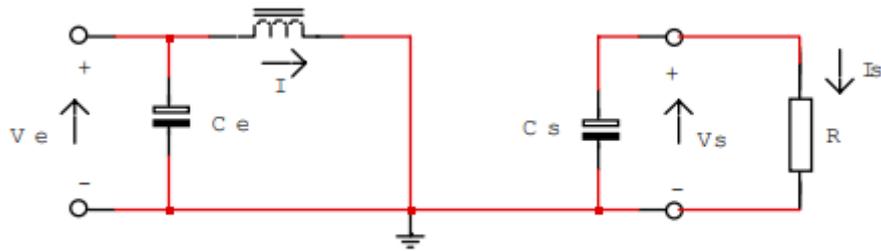


Figure 1.09 : schéma de fonctionnement d'une convertisseur boost dans la phase 1

On a :

$$V_e = L di/dt$$

$$D'où i(t) = I_m + V_e * t / L$$

A l'instant $t = aT$ le courant dans l'inductance atteint la valeur crête :

$$I_M = I_m + V_e * aT / L$$

2) Phase 2 ($aT < t < T$)

A $t = aT$ on ouvre l'interrupteur K. La diode D devient conductrice et le schéma équivalent du circuit devient :

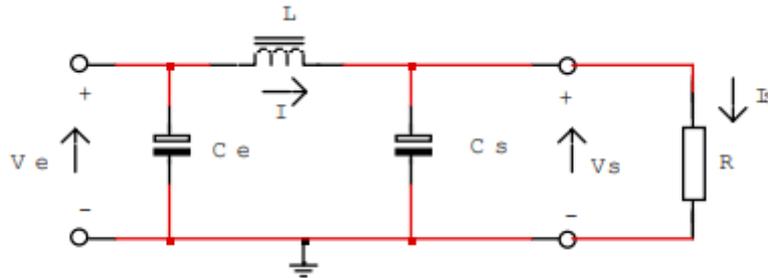


Figure 1.10 : schéma de fonctionnement d'un convertisseur boost dans la phase 2

$$V_e - V_s = L di/dt$$

$$\text{ou } V_s - V_e = -L di/dt$$

$$i(t) = I_M - ((V_s - V_e) (t - aT)) / L$$

A l'instant $t = T$ le courant dans l'inductance atteint sa valeur minimale :

$$I_m = I_M - ((V_s - V_e) (1 - a)) T / L$$

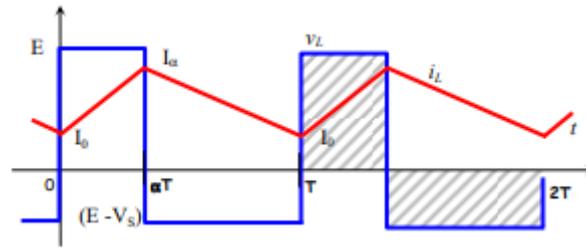
Soit ΔI l'ondulation du courant dans l'inductance : $\Delta I = I_M - I_m$

$$\text{De l'équation (1) on tire : } \Delta I = I_M - I_m = (V_e / L) aT$$

$$\text{Et de l'équation (2) : } \Delta I = I_M - I_m = ((V_s - V_e) L) (1 - a) T$$

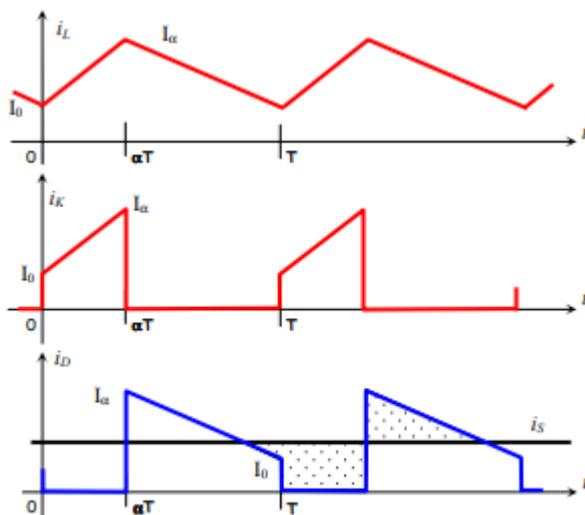
En combinant ces deux relations, on peut établir l'expression de la tension de sortie :

$$V_s = V_e / (1 - \alpha)$$

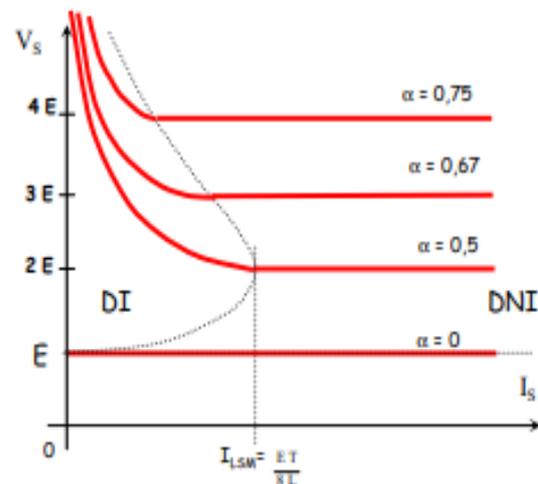


Courbe 1.06 : courbe de tension V_L et de courant i_L d'un convertisseur boost

On constate que la tension de sortie du convertisseur ne dépend que de la tension d'entrée et du rapport cyclique α . Celui-ci étant toujours compris entre 0 et 1, le convertisseur est toujours éleveur de tension (La tension de sortie est supérieure à la tension d'entrée).



Courbe 1.07 : courbes des courants i_L, i_k, i_D d'un convertisseur boost



Courbe 1.08 : courbe de DNI d'un convertisseur boost

On notera que la tension de sortie est théoriquement indépendante de la charge. Dans la pratique, la boucle de régulation ne devra donc compenser que les variations de la tension d'entrée et les imperfections des composants réels.

La stratégie de régulation qui semble la plus évidente est la modulation de largeur d'impulsion (MLI) à fréquence fixe et rapport cyclique α variable. Comme précédemment on peut tracer l'évolution de $V_s = f(I_s)$:

1.3.3.3 Hacheur Buck/boost

Dernier hacheur de la famille des convertisseurs DC/DC (un quadrant), le

hacheur Buck-boost est également appelé abaisseur-élevateur par son aptitude à fournir une tension plus faible, ou plus élevée que celle appliquée en son entrée. Ceci dépend de la valeur du rapport cyclique.

✚ Fonctionnement

Lors de la première phase de conduction, de 0 à αT , l'interrupteur commandé est fermé. La diode n'est pas passante et l'inductance stocke l'énergie fournie par le générateur d'entrée.

Lors de la seconde phase, de αT à T , on ouvre l'interrupteur commandé et la diode devient passante.

L'inductance restitue son énergie à la charge.

En conduction continue et sachant que la valeur moyenne aux bornes de l'inductance est nulle, on a :

$$V_{i\alpha T} = V_o(1 - \alpha)T$$

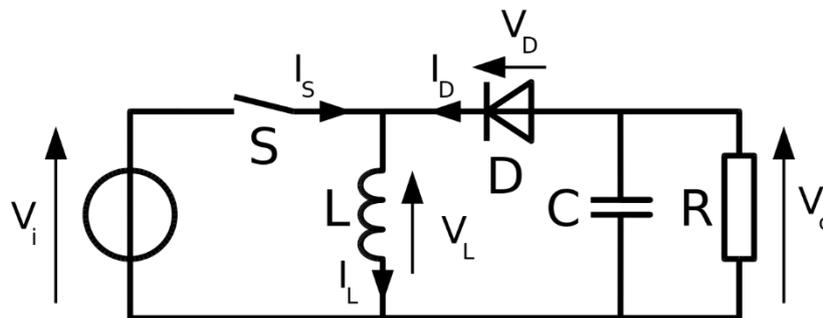


Figure 1.11 : convertisseurs DC/DC abaisseur-élevateur

Suivant la valeur du rapport cyclique α , la tension moyenne de sortie peut être supérieure ou inférieure à la tension d'entrée :

- lorsque $\alpha > 0.5$, le hacheur Buck-boost fonction comme un hacheur boost (élevateur).
- Lorsque $\alpha < 0.5$, le hacheur buck-boost fonction comme un hacheur buck (abaisseur)

Ainsi la période se décomposera en deux (ou trois) phases successives :

Une phase d'accumulation, $0 < t < \alpha T$

Durant laquelle l'interrupteur est fermé. La tension E est appliquée à la bobine, $V_L = E$.

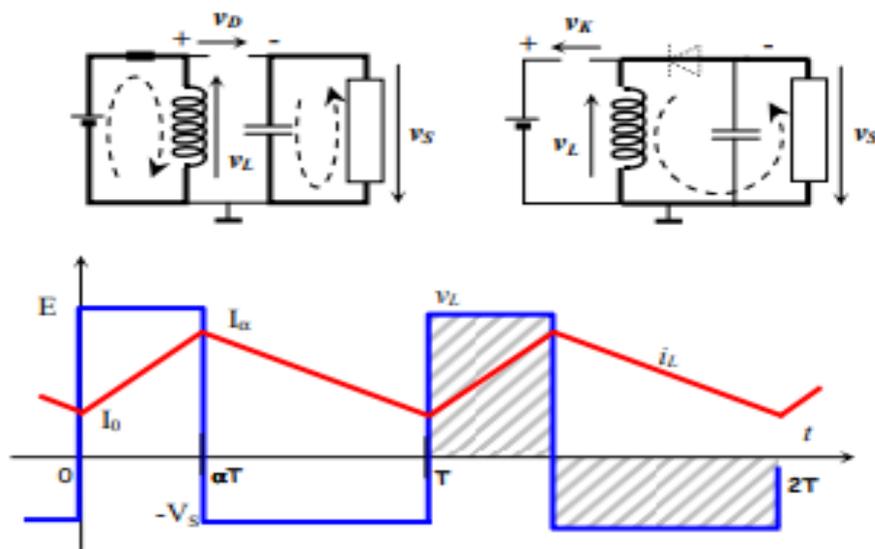
La diode est bloquée ($V_D = -V_s - E$). Le condensateur assure le courant d'utilisation

Une phase de restitution, $\alpha T < t < T$ (ou βT)

L'interrupteur est ouvert, mais i_L n'est pas nul, ce qui force la diode à conduire. La tension de sortie est appliquée aux bornes de la bobine en inverse $V_L = -V_S$

Une phase de repos, $\beta T < t < T$

peut avoir lieu si la charge est trop faible. Dans ce cas c'est à nouveau C qui fournit le courant de sortie.



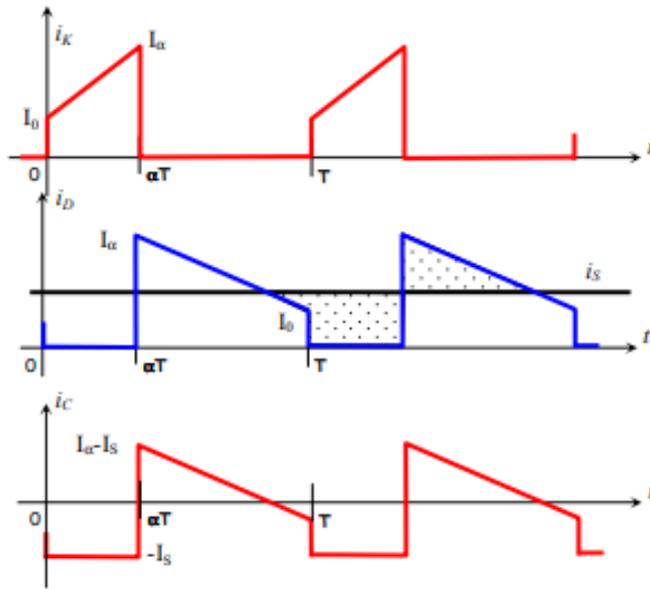
Courbe 1.09 : courbes de tension V_L et de courant i_L d'un convertisseur buck-boost

Pour obtenir la valeur de V_S exprimons que $V_{L\text{moy}}$ doit être nulle, ainsi :

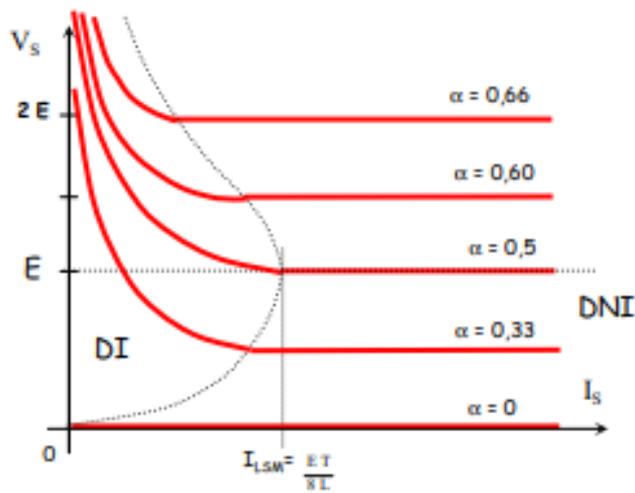
$$\alpha T * E = - (T - \alpha T) * (-V_S)$$

Ce qui donne en ordonnant :

$V_S = E * \alpha / (1 - \alpha)$ La tension de sortie est inférieure à la tension d'entrée lorsque $\alpha < 0,5$ et elle est supérieure dans le cas contraire³ Les chronogrammes des courants en DNI sont donnés ci-dessous. Comme pour les autres montages on peut tracer l'évolution de $V_S = f(I_S)$,

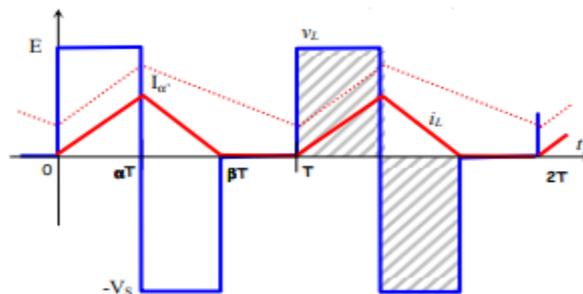


Courbe 1.10 : courbe des courant i_k , i_L , i_C d'un convertisseur buck-boost



Courbe 1.11: courbe de DNI d'un convertisseur buck-boost

En DI, la tension de sortie s'écrit : $V = E(\alpha^2 T E) / 2 L I_s$



Courbe 1.12 : courbes de V_L et i_L

On observe là encore une tension qui tend vers l'infini à circuit ouvert ($I_s = 0$), d'où l'utilisation d'une éventuelle « résistance de saignée ». On peut, avec ce montage réaliser une alimentation symétrique (split supply) à partir d'une alimentation simple : (avec $a = 0,5$).[12]

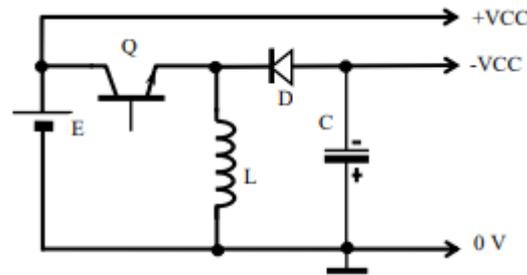


Figure 1.12 : réalisation d'alimentation symétrique (split supply) à partir d'une alimentation simple

1.4 Régulateur de système solaire TRISTAR TS-M :

1.4.1 Description du TriStar

Le TriStar est un régulateur de système d'énergie solaire mettant en œuvre des techniques de pointe. [1]

➤ Les régulateurs TriStar sont offerts en deux versions :

1/TriStar-45 : Intensité nominale maximale de courant continu de 45 A (Charge solaire, courant d'appel ou dérivation) Homologué pour systèmes c.c. de 12 V, 24 V, 48 V.

2/TriStar-60 : Intensité nominale maximale de courant continu de 60 A (Charge solaire, courant d'appel ou dérivation) Homologué pour systèmes c.c. de 12 V, 24 V, 48 V.

➤ Charge solaire de la batterie :

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. La charge comprend une étape de charge dans le volume, puis l'absorption avec modulation de largeur d'impulsion (MLI), la charge d'entretien et enfin la charge d'égalisation. [1]

➤ 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.

➤ **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. Communiquer avec Morningstar pour les directives sur le contrôle de la charge de dérivation.

1.4.2 Usage général

- Les régulateurs TriStar sont configurés pour des systèmes avec prise de masse de polarité négative.
- Le TriStar est doté d'une protection électronique contre les défauts avec reprise automatique. Le TriStar ne contient ni fusible, ni pièce mécanique à réarmer ou à remplacer.
- Les surcharges solaires allant jusqu'à 130 % de l'intensité nominale donnent lieu à la réduction automatique du courant plutôt qu'au sectionnement du circuit solaire. Les températures excessives font aussi réduire l'apport d'énergie solaire à des niveaux inférieurs pour éviter le sectionnement.
- On peut connecter en parallèle un nombre quelconque de TriStars pour augmenter le courant de charge solaire. Les TriStars peuvent être mis en parallèle SEULEMENT en mode de charge de la batterie. NE PAS raccorder en parallèle des TriStars en mode de contrôle de l'appel de puissance, ceci pouvant endommager le régulateur ou la charge.
- L'enceinte du TriStar est homologuée pour utilisation à l'intérieur.
- Le TriStar détecte les conditions diurnes ou nocturnes, et aucune diode de blocage n'est utilisée dans le schéma de puissance. [1]

1.4.3 Installation du TriStar :

1.4.3.1.1 Étape Charge solaire et contrôle de l'appel de puissance :

- 1) Déposer la plaque d'accès en retirant les 4 vis.
- 2) Monter le TriStar à l'aide du gabarit inclus.
- 3) Régler les 8 commutateurs dans le boîtier DIP. Chaque commutateur doit être dans la bonne position. (Voir détails ci-dessous.)
- 4) Fixer la sonde RTS si la charge de batterie doit être stabilisée en température (ne s'applique pas au contrôle de l'appel de puissance).
- 5) Connecter les conducteurs du circuit de détection de tension de la batterie voltage (recommandé).
- 6) Connecter les conducteurs de puissance de la batterie au TriStar. Connecter ensuite les conducteurs du générateur photovoltaïque (ou la charge).

- 7) Connecter un ordinateur au TriStar lorsqu'on effectue des réglages à l'aide du logiciel PC.
- 8) Reposer le panneau d'accès.

PS : Les étapes 3 et 6 sont nécessaires pour toutes les installations. Les étapes 4, 5 et 7 sont facultatives.

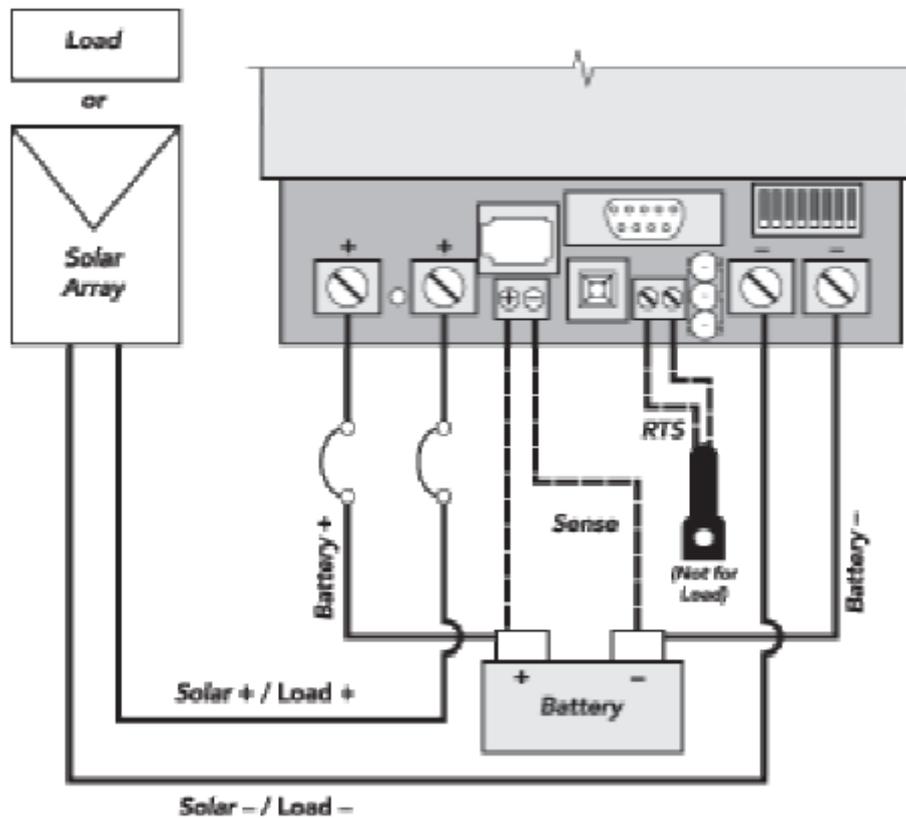


Figure 1.13 : Câblage de l'installation pour la charge solaire et pour le contrôle de l'appel de puissance

NOTE :

Lors du montage du TriStar, s'assurer que rien ne gêne la circulation d'air autour du régulateur et du dissipateur thermique.

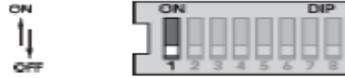
On configure le TriStar pour la charge de la batterie et le contrôle voulu en effectuant les réglages des commutateurs DIP décrits ci-dessous. Pour faire passer un commutateur de OFF à ON, pousser la glissière du commutateur vers le haut du régulateur. S'assurer que chaque commutateur est bien calé en position ON ou OFF. [1]

1.4.3.1.2 Réglage des commutateurs DIP :

1) Mode de contrôle : charge solaire de la batterie ou contrôle d'appel :

Contrôle Commutateur 1

- Charge → Off
- Contrôle d'appel → On (Pour le mode de contrôle de la charge de batterie, laisser le commutateur DIP en position OFF, comme illustré.) [1]



Commutateur no 1

2) Tension du système :

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

Tableau 1.01 : tension de système

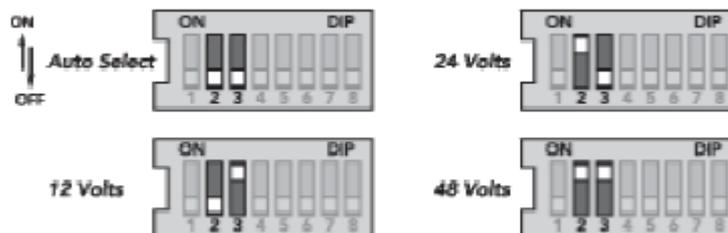


Figure 1.14 : Commutateurs n 2, 3

La sélection automatique de la tension du système d'effectue lorsque la batterie est connectée et que le TriStar démarre. Il ne doit pas y avoir de charge sur la batterie qui puisse amener une batterie déchargée à indiquer une tension de système réduite.

Les tensions pouvant être sélectionnées par commutateurs DIP s'appliquent aux batteries acide-plomb de 12 V, 24 V et 48 V. Même si la sélection de tension automatique est très fiable, on recommande de se servir des commutateurs DIP pour fixer la tension correcte du système. [1]

3) Algorithme de charge de la batterie :

Type de batterie	Tension MLI	Commutateur 4	Commutateur 5	Commutateur 6
1	14.0	Off	Off	Off
2	14.5	Off	Off	On
3	14.35	Off	On	Off
4	14.4	Off	On	On
5	14.6	On	Off	Off
6	14.8	On	Off	On
7	15	On	On	Off
8	Personnalisée	On	On	On

Tableau 1.02 : commande de tension de charge PWM

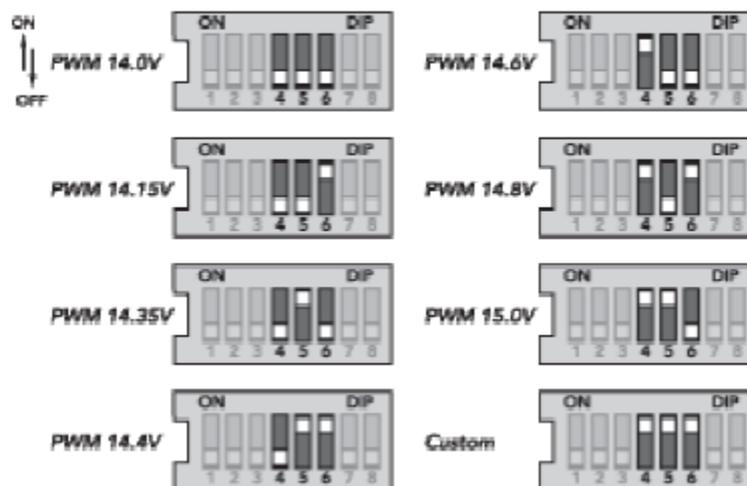


Figure 1.15 : Commutateurs n 4, 5, 6

Sélectionner l'un des 7 algorithmes standard de charge de la batterie, ou sélectionner le commutateur DIP « personnalisé » (Custom) pour effectuer les réglages personnalisés spéciaux à l'aide du logiciel PC.

4) Charge d'égalisation de la batterie :

Égalisation Commutateur 7

Manuelle → Off

Automatique → On

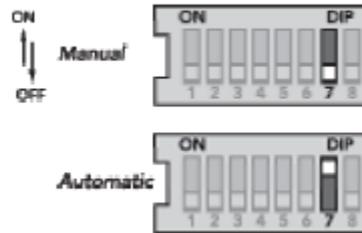


Figure 1.16 : Commutateur no 7

En mode d'égalisation automatique (commutateur no 7 à On), le début et la fin de la charge d'égalisation sont commandés automatiquement par le programme de batterie sélectionné au moyen des commutateurs DIP 4, 5, 6 ci-dessus.

En mode d'égalisation manuel (commutateur no 7 à Off), la charge d'égalisation ne s'effectue que sur démarrage manuel à l'aide du bouton-poussoir. Le démarrage automatique de l'égalisation est désactivé. L'égalisation s'arrête automatiquement suivant l'algorithme de batterie sélectionné. [1]

Dans les deux cas (modes automatique et manuel), on peut utiliser le bouton-poussoir pour démarrer et arrêter la charge d'égalisation de la batterie.

5) Réduction du bruit :

Charge Commutateur 8

- MLI (PWM) → Off
- Marche-Arrêt (On-Off) → On

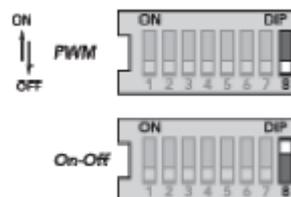


Figure 1.17 : Commutateur no 8

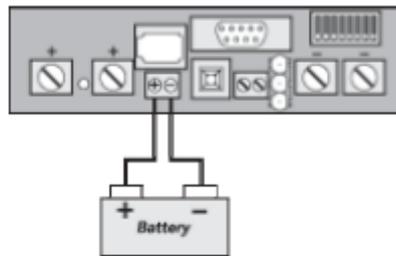
L'algorithme de charge de la batterie en MLI est standard pour tous les régulateurs de charge Morningstar. Toutefois, dans les cas où la régulation MLI provoque des bruits parasites sur les charges (p. ex. certains types d'équipement de télécommunication ou de radios), il est possible de transformer le TriStar pour une méthode de régulation « Marche-Arrêt » de la charge solaire.

À noter que la régulation « Marche-Arrêt » de la charge solaire est beaucoup moins efficace que la MLI. Il faut chercher à supprimer les bruits problématiques par d'autres méthodes, et ne transformer le TriStar en

chargeur « Marche-Arrêt » qu'après avoir épuisé toutes les autres solutions possibles.[1]

1.4.3.1.3 Connexion du circuit de détection de tension de la batterie :

La connexion du circuit de détection de tension de la batterie n'est pas indispensable au fonctionnement du régulateur TriStar, mais on la recommande pour l'optimisation de la performance dans tous les modes de charge et de contrôle de l'appel de puissance. Les conducteurs de détection de tension de la batterie ne portent presque pas de courant ; l'entrée de détection de tension évite donc les importantes chutes de potentiel susceptibles de se présenter dans les conducteurs de puissance de la batterie. La connexion du circuit de détection de tension permet au régulateur de mesurer la tension réelle de la batterie dans toutes les conditions. [1]



Connexion du circuit de détection de la batterie

- Le calibre des conducteurs peut varier de 1,0 à 0,25 mm²
- La longueur maximale permise pour chaque conducteur de détection de tension de la batterie est 30 m
- Veiller à connecter la borne positive (+) de la batterie à la borne positive (+) du circuit de détection de tension.

1.4.3.1.4 Voyants LED:

1) Explication des codes d'affichage LED

- G = le voyant DEL vert (Green) est allumé
- Y = le voyant DEL jaune (Yellow) est allumé
- R = le voyant rouge (Red) est allumé
- G/Y = les voyants vert et jaune sont allumés en même temps
- G/Y - R = les voyants vert et jaune sont tous deux allumés, puis le rouge seul est allumé En séquence (erreurs) s'applique à une suite d'affichages DEL qui se répète jusqu'à ce que l'erreur soit effacée

A. Transitions générales

- Montée en puissance du régulateur G - Y - R (un cycle)
- Transitions bouton-poussoir clignotement des 3 DEL 2 fois

- Besoin de service batterie clignotement des 3 DEL jusqu'au réarmement du service

B. État de la batterie

- État général de la charge voire indications de l'état de la charge de la batterie (SOC) ci-dessous
- Absorption MLI G clignote (0,5 s temps de marche / 0,5 s temps d'arrêt)
- État d'égalisation G clignote rapidement (de 2 à 3 fois par seconde)
- État d'entretien G clignote lentement (1 s temps de marche / 1 s temps d'arrêt)

2) Indications des voyants DEL pour l'état de la charge batterie (SOC) (batterie en cours de charge)

- G allumé SOC de 80 % à 95 %
- G/Y allumés SOC de 60 % à 80%
- Y allumé SOC de 35 % à 60 %
- Y/R allumés SOC de 0 % à 35 %
- R allumé la batterie se décharge

3) Erreurs et pannes :

- Court-circuit – charge solaire / charge d'appel R/G- Y en séquence
- Court-circuit – charge solaire / charge d'appel R/G- Y en séquence
- Surcharge - charge solaire / charge d'appel R/Y - G en séquence
- Surcharge - charge solaire / charge d'appel R/Y - G en séquence
- Température excessive R-Y en séquence
- Température excessive R-Y en séquence
- Déconnexion haute tension R- G en séquence
- Déconnexion haute tension R- G en séquence
- Polarité inversée – batterie aucune DEL ne s'allume
- Polarité inversée – batterie aucune DEL ne s'allume
- Polarité inverse – charge solaire aucune indication d'erreur
- Polarité inverse – charge solaire aucune indication d'erreur
- Erreur commutateur DIP R - Y - G en séquence
- Erreur commutateur DIP R - Y - G en séquence
- Erreurs d'autotest R - Y - G en séquence
- Erreurs d'autotest R - Y - G en séquence
- Sonde de température (RTS) R/Y - G/Y en séquence
- Sonde de température (RTS) R/Y - G/Y en séquence
- Circuit de détection de tension de la batterie R/Y - G/Y en séquence

1.4.3.1.5 Programmes standard pour la charge de la batterie :

Le TriStar fournit 7 algorithmes (programmes) standard de charge de la batterie, qu'on sélectionne à l'aide des commutateurs DIP. Ces algorithmes standard 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. [1]

De plus, un 8e commutateur DIP permet de fixer des valeurs de consigne personnalisées au moyen du logiciel PC.

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 = 2X, 48 V = 4X).

Toutes les valeurs sont à 25°C (77°F)

1.4.3.1.6 Réglages personnalisés avec logiciel PC :

Une connexion RS-232 entre le TriStar et un micro-ordinateur extérieur (PC) permet de régler facilement nombre de valeurs de consigne et paramètres de fonctionnement. Un câble RS-232 avec connecteurs DB9 (9 broches sur 2 rangées) est nécessaire. Télécharger le logiciel TriStar PC à partir du site Web de Morningstar. Suivre les directives du site Web pour l'installation du logiciel dans le microordinateur.

Commutateurs DIP 4-5-6	Type de batterie	Tension absorb. p. en MLI	Tension entret.	Tension égalis	Temps égalis h	Intervalle d'égalis j	Cycle max. d'égalisation h
off-off-off	Scellée	14	13.4	Aucune	-	-	-
off-off-on	Scellée	14.15	13.4	14.2	1	28	1
off-on-off	Scellée	14.35	13.4	14.4	2	28	2
off-on-on	Électrolyt e	14.4	13.4	15.1	3	28	4
on-off-off	Électrolyt e	14.6	13.4	15.3	3	28	5
on-off-on	Électrolyt e	14.8	13.4	15.3	3	28	5
on-on-off	L-16	15	13.4	15.3	3	14	5
on-on-on	Personn		Personn			Personn	

Tableau 1.03 : l'algorithme de charge

1.4.3.1.7 Specifications Techniques:

a) Électrique

- Tension du circuit 12, 24, 48 Vcc
- Courant nominal - Règlement de Charge de Batterie

- TS-45: 45 A
- TS-60: 60 A
- Courant nominal - Contrôle de l'appel de puissance
 - TS-45: 45 A
 - TS-60: 60 A
- Courant nominal - Contrôle de la charge de dérivation
 - TS-45: 45 A charge de dérivation
 - TS-60: 60 A charge de dérivation
- Précision
 - 12/24V: $\leq 0.1 \% \pm 50 \text{ mV}$
 - 48 V : $\leq 0.1 \% \pm 100 \text{ mV}$
- Tension minimale de fonctionnement 9 V
- Tension solaire max. (Voc) 125 V
- Tension d'opération de maximum 68 V
- Consommation: < 20 mA
- Arrêt haute température
 - 95°C déconnexion charge solaire
 - 90°C déconnexion charge d'appel / charge de dérivation
 - 70°C reconnexion charge solaire / d'appel / de dérivation
- Déconnexion haute tension
 - De la charge solaire égalisation la plus élevée : + 0,2 V
 - Reconnexion après HVD 13,0 V
- Protection contre surtensions

Transitoires :

- Impulsion nominale 4500 W
- Temps de réponse < 5 ns

b) Charge de la batterie / Sonde thermique à distance (RTS)

- Algorithme de charge MLI, à tension constante
- Coeff. decompens. Température -5mV/°C / élément (température de référence : 25°C)
- Étendue de compensation temp. -30°C à +80°C
- Valeurs de consigne comp. temp. MLI, charge d'entretien, entretien, HVD (avec l'option de RTS)

c) D'État de la Charge de Batterie

- G 13,3 à MLI

- G/Y 13,0 à 13.3 V
- Y 12,65 à 13.0 V
- Y/R 12,0 à 12.65 V
- R 0 à 12.0 V

➤ Nota: Multiplier par 2 pour les systèmes de 24 V, x 4 pour les systèmes de 48 V.

d) Environnement

- Température ambiante -40°C to +45°C
- Température d'entreposage -55°C to +85°C
- Humidité 100% (NC)
- Enclosure Type 1, pour utilisation à l'intérieur
- Enceinte acier à revêtement par poudre

1.5 Généralité sur le stockage d'énergie :

Le stockage de l'énergie est un enjeu stratégique majeur à l'échelle mondiale, En raison de l'intermittence de certaines d'entre elles (éolien, solaire notamment photovoltaïque), le stockage est alors le seul moyen permettant d'opérer un décalage dans le temps entre la production d'électricité (par des panneaux solaires fonctionnant uniquement le jour) et la satisfaction de la demande (éclairage la nuit). Le système le plus utilisé aujourd'hui pour stocker de grandes quantités d'énergie primaire lors de périodes de surproduction est le stockage hydraulique (STEP, station de transfert d'énergie par pompage) .Les moyens de stockage d'énergie se divisent en quatre catégories :mécanique (barrage hydroélectrique, Station de transfert d'énergie par pompage - STEP, stockage d'énergie par air comprimé – CAES, volants d'inertie),électrochimique (piles, batteries, vecteur hydrogène),électromagnétique (bobines supraconductrices, super capacités), thermique (chaleur latente ou sensible).

1.5.1 Définition :

Un système de stockage électrique est un dispositif technique permettant de convertir une production électrique sous une forme stockable (électrochimique, chimique, mécanique, thermique, ...), de l'accumuler puis de la restituer, sous forme d'électricité ou d'une autre énergie finale utile (thermique, chimique, ...). L'électricité ne peut pas être stockée en tant que telle, elle doit nécessairement être convertie. [2]

1.5.2 L'importance du stockage électrique

Le stockage sert principalement de buffer (tampon) et permet de faciliter la gestion et l'intégration des énergies renouvelables tant sur le réseau que dans les bâtiments en offrant une certaine autonomie lorsque le vent et le soleil sont absents.

1.5.3 Les caractéristiques d'un système de stockage

1. La tension de base (12V, 24V, 48V ...)
2. Les valeurs de vie de la batterie

3. La capacité de stockage (en Ampère heure) est la quantité d'énergie disponible.
4. Le courant de crête (en Ampères) est l'énergie disponible instantanément.
5. Puissance de charge et de décharge (en W, kW, ...)
6. Le délai nécessaire pour fournir la puissance demandée (en secondes, minutes ou en heures)
7. Le rendement de conversion (en %).
8. Capacité à retenir l'énergie stockée dans le temps (autodécharge) [3]

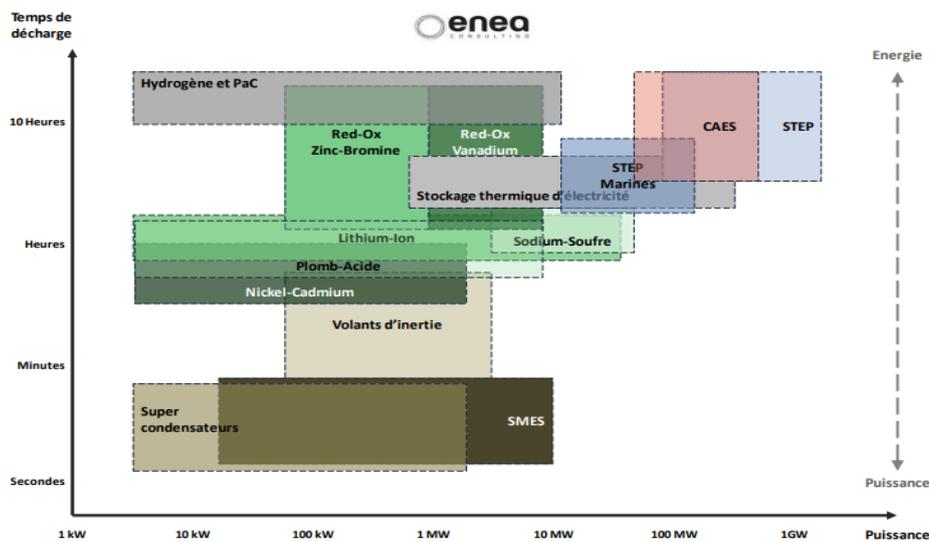


Figure 1.18 : Cartographie des moyens de stockage stationnaire d'électricité selon leurs temps de décharge et puissance typiques

1.5.4 Stockage électrochimique:

L'exploitabilité à grande échelle du courant électrique produit par des sources renouvelables dépend beaucoup de l'intégration de moyens de stockage efficaces, afin d'équilibrer les variations inévitables entre l'offre et la demande d'électricité.

Tandis que le stockage électrochimique de courant est utilisé depuis longtemps pour les petites capacités de stockage, en particulier pour les applications mobiles (batteries de voiture, par exemple), le développement et l'intégration d'unités de stockage de grandes dimensions en est encore à ses débuts. Pour les applications typiques, les accumulateurs doivent être à faibles pertes, efficaces, économiques, offrir un nombre de cycles élevé et être stables sur le long terme. [21]

1.5.5 Définition de stockage électrochimique

Le stockage électrochimique de l'énergie est un moyen de conserver l'énergie électrique sous forme chimique. Cette forme de stockage profite du

fait qu'énergie électrique et chimique partagent le même vecteur, l'électron. Cet avantage permet de limiter les pertes liées à la conversion de l'énergie d'une forme à une autre.[22]

1.5.6 Accumulateurs électrochimiques

Principe:

Les accumulateurs électrochimiques sont des dispositifs destinés à stocker l'énergie électrique et à la restituer ultérieurement. C'est la modification chimique d'un mélange appelé "électrolyte" qui permet d'accumuler ou de restituer l'énergie électrique. Dans un accumulateur électrochimique, une électrode est l'endroit où ont lieu les réactions chimiques produisant (ou absorbant) les électrons qui circulent dans le circuit électrique extérieur au générateur. Toute réaction qui implique un échange d'électron(s) peut être utilisée dans un générateur électrochimique. Le composé qui, pendant une réaction chimique perd des électrons, s'oxyde ou subit une oxydation. L'électrode où une oxydation se produit est appelée anode. Le composé qui absorbe des électrons se réduit ou subit une réduction. L'électrode où se passe une réduction est une cathode. Dans un générateur électrochimique, les électrons quittent l'anode vers le circuit extérieur et retournent au générateur par la cathode.[23]

Oxydoréduction

Un oxydant est une espèce chimique susceptible de gagner un ou plusieurs électrons, lors d'une réaction durant laquelle il se réduit. La demi-équation électronique d'une réduction s'écrit :



Un réducteur est une espèce chimique susceptible de perdre un ou plusieurs électrons, lors d'une réaction durant laquelle il s'oxyde. La demi-équation électronique d'une oxydation s'écrit :



Les espèces chimiques intervenant dans une demi-réaction constituent un couple redox, qui se note **ox/red**. Par exemple **cu²⁺/cu**

Une réaction d'oxydoréduction se caractérise par un transfert d'électron(s) d'un réducteur d'un couple redox vers un oxydant d'un autre couple.

Une espèce chimique qui intervient dans un couple en tant que réducteur et comme oxydant dans un autre couple est un ampholyte. L'adjectif correspondant est amphotère. Par exemple, le peroxyde d'hydrogène (eau oxygénée) H₂O₂ intervient dans les couples H₂O₂/H₂O, O₂/H₂O.

Générateur électrochimique :

Les générateurs électrochimiques génèrent une tension continue et sont principalement utilisés dans des appareils électriques portatifs. Il peut s'agir par exemple de piles ou d'accumulateurs électrochimiques. Ces derniers transforment l'énergie chimique en énergie électrique. En résumé, un générateur électrochimique élémentaire comprend au minimum :

- un contenant
- deux électrodes avec leurs contacts
- un électrolyte
- un séparateur

L'électricité étant produite par une réaction chimique, le courant cesse de circuler lorsque la matière active contenue dans au moins l'une des électrodes a été complètement utilisée.[24]

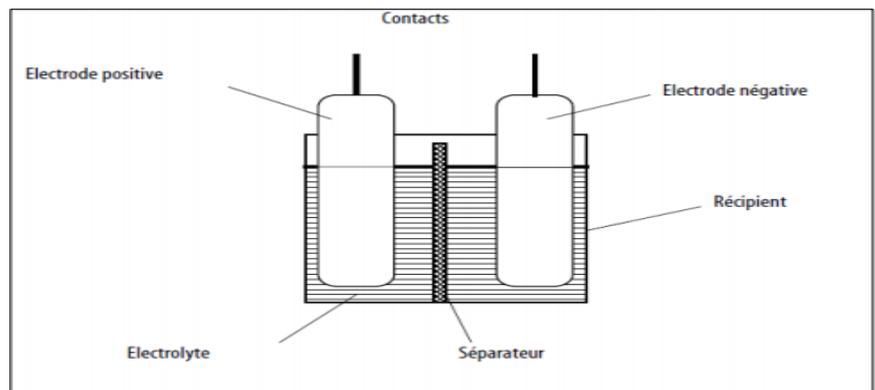


figure 1.19 : Structure d'un générateur électrochimique

1.5.7 Les technologies Accumulateurs :

L'accumulateur acide-plomb:

Un accumulateur au plomb est constitué d'un bac isolant, étanche et résistant aux chocs contenant de l'acide sulfurique dilué dans de l'eau dans lequel trempent deux électrodes à base de plomb : la cathode et l'anode.

La densité de l'électrolyte dépend de la charge et varie de 1,1 (accu déchargé) à 1,28 (accu chargé). La densité moyenne étant de 1,25.

- Electrode négative (cathode -) : la litharge (oxyde de plomb PbO) se transforme en plomb (Pb). Production d'oxygène.
- Electrode positif (Anode +) : le minium (oxyde de plomb Pb_3O_4) s'oxyde en PbO_2 . Production d'hydrogène.

Théoriquement oxygène et hydrogène se recombinaient tandis que le sulfate de plomb qui se forme pendant la réaction disparaît. En pratique une partie de l'eau disparaît sous forme de dégagement d'oxygène et d'hydrogène et du sulfate de plomb se dépose petit à petit ce qui conduit à la détérioration lente de la batterie.

C'est sans doute l'accumulateur le plus répandu, surtout dans les applications où sont demandés :

- une forte intensité (plusieurs centaines d'ampères au démarrage d'un moteur d'automobile)

- une grande capacité de stockage (alimentation électrique de secours...).

Les caractéristiques principales d'accumulateur acide plomb sont :

- Rendement charge-décharge : 50–92 %
- Nombre de cycles de charge : 500 à 1 200
- Tension nominale par élément : 2,1 V
- Autodécharge : 3–20 %/mois
- Durée de vie : min. 4 à 5 ans
- Énergie/Poids : 20–40 Wh/kg
- Énergie/Volume : 40–100 Wh/l
- Entretien plus contraignant
- Plus fragile
- Dégage de l'hydrogène inflammable
- Ne peut être retourné (cas des batteries à électrolyte liquide)
- Meilleur marché (à capacité égale)
- Rendement plus élevé.
- Résistance interne plus faible (quelques centièmes à quelques millièmes d'ohms).

Nb : Dans les accumulateurs au plomb sans entretien, l'électrolyte liquide est remplacé par un gel et il n'est plus nécessaire de contrôler le niveau de l'électrolyte.

1) Fonctionnement d'accumulateur acide-plomb:

Un accumulateur au plomb élémentaire est constitué d'une plaque de plomb spongieux (Pb) et

D'une plaque de bioxyde de plomb (PbO₂) plongées dans une solution d'acide sulfurique (H₂SO₄)

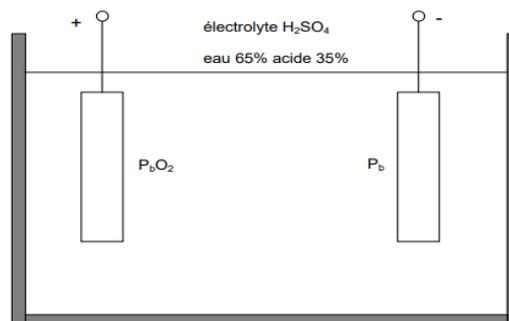


Figure 1.20 : Accumulateur au plomb chargé : décharge d'accumulateur »

Lorsqu'un récepteur est relié aux bornes de l'accumulateur, les réactions chimiques provoquent la circulation d'un courant électrique

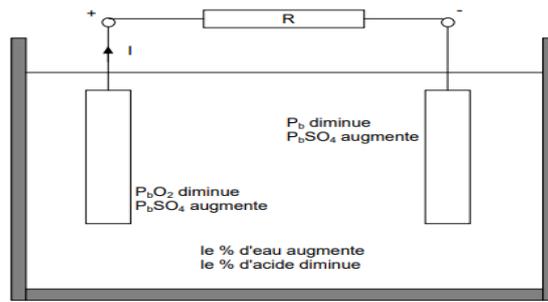


Figure 1.21 : Décharge d'un accumulateur

Pendant cette décharge, le bioxyde de plomb de la plaque positive se transforme graduellement en sulfate de plomb ($PbSO_4$) et le plomb spongieux de la plaque négative se transforme également en sulfate de plomb. Lorsque les plaques sont identiques, la différence de potentiel entre elles s'annule et la circulation du courant s'interrompt.

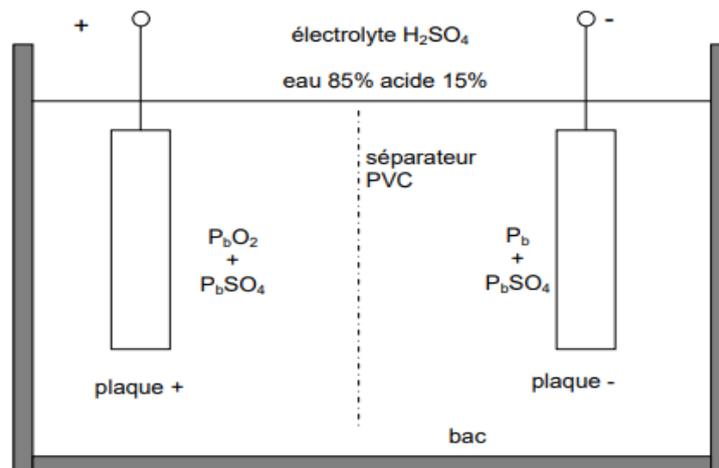


Figure 1.22 : Accumulateur déchargé : Charge d'accumulateur

Afin de charger l'accumulateur, il faut relier les bornes de l'accumulateur à ceux d'une source de tension continue. Il faut connecter la borne + de la source de tension à la borne + de l'accumulateur, celui-ci devenant récepteur vis-à-vis de la source de tension. Le sens de circulation du courant électrique pendant la charge est l'inverse du sens de circulation de la décharge. Le sulfate de plomb est dissous par le passage du courant et les plaques reprennent leur état initial.[25]

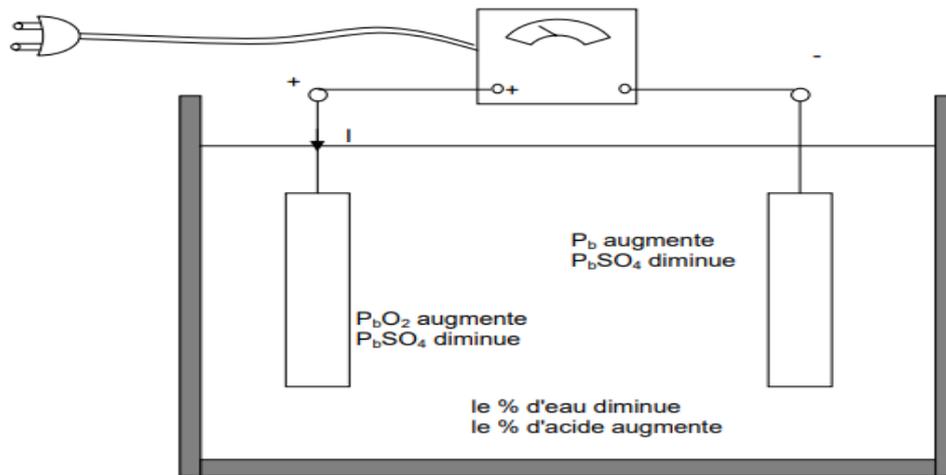


Figure 1.23 : Charge d'un accumulateur

L'accumulateur Nickel-Cadmium :

Les accumulateurs Cadmium-Nickel (ou Ni-Cd, Nicad...) sont très répandus et complètent les batteries au plomb utilisés plutôt dans les domaines où une plus forte capacité ou une grande puissance sont requises. Par rapport à l'accu ordinaire au plomb les particularités sont :

- Tension nominale par élément : 1,2 V
- Rendement charge-décharge : 70 à 90 %
- Nombre de cycles de charge : 1500 cycles
- Durée de vie : 24 à 36 mois
- Autodécharge : 10 % à 20 % /mois
- Énergie/Poids : 40 à 60 Wh/kg
- Énergie/Volume : 50 à 150 Wh/l
- Entretien nul
- Étanche, ne dégage pas de gaz inflammable.
- Peut se retourner dans tous les sens
- Plus cher à capacité égale

1) Fonctionnement d'accumulateur Nickel-Cadmium :

Constituée de deux demi-piles reliées par un pont salin et mettant en jeu les couples oxydant-réducteur Ni^{2+}/Ni et Cd^{2+}/Cd

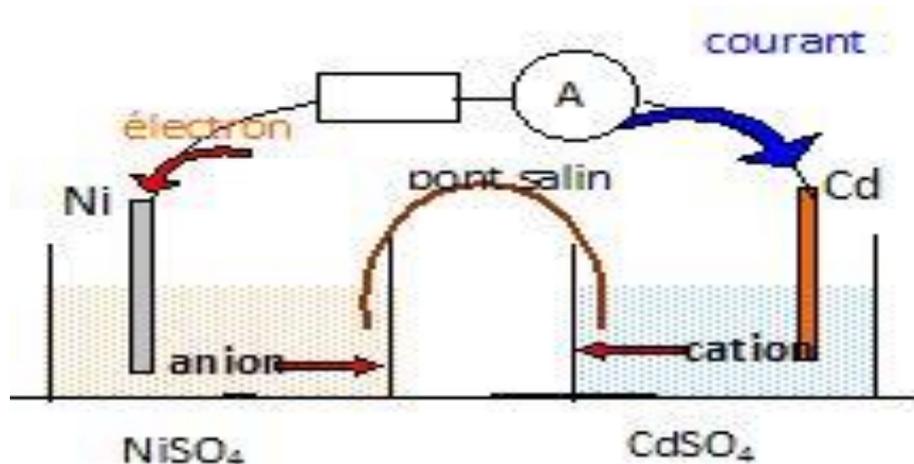
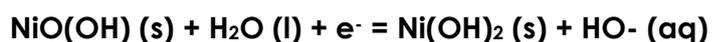


Figure 1.24 : Accumulateur Nickel-Cadmium

➤ **Décharge d'accumulateur**

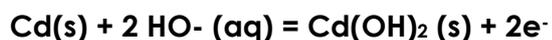
Les couples en présence sont $\text{NiO}(\text{OH}) / \text{Ni}(\text{OH})_2$ et $\text{Cd}(\text{OH})_2 / \text{Cd}$.

A l'électrode positive, l'oxo hydroxyde de nickel $\text{NiO}(\text{OH})$ est réduit en hydroxyde de nickel $\text{Ni}(\text{OH})_2$:



C'est une réaction simplifiée, car en réalité la réaction fait intervenir plusieurs oxydes et hydroxydes de nickel.

A l'électrode négative, le cadmium Cd est oxydé en hydroxyde de cadmium $\text{Cd}(\text{OH})_2$:



➤ **Charge d'accumulateur :**

Les réactions aux électrodes lors de la charge sont les inverses de celles qui apparaissent lors de la décharge ;

L'hydroxyde de nickel $\text{Ni}(\text{OH})_2$ est oxydé à l'électrode positive qui constitue maintenant l'anode :



L'hydroxyde de cadmium est réduit à l'électrode négative qui constitue alors la cathode : $\text{Cd}(\text{OH})_2(\text{s}) + 2\text{e}^- = \text{Cd}(\text{s}) + 2 \text{HO}^- (\text{aq})$ [26]

L'accumulateur Nickel-Métal Hydrure :

La technologie nimh est très répandue. Elle est présente dans la plupart des accumulateurs des appareils portables. Mais elle se trouve également dans les accumulateurs des voitures hybrides. Elles apportent un degré de sécurité

plus important que les batteries au lithium. L'accumulateur nimh est une alternative aux accus Ni-CD dans certains cas. il est caractériser par :

- Rendement charge-décharge : 66 %
- Nombre de cycles de charge : 500 à 1000
- Tension nominale par élément : 1,2 V
- Durée de vie : environ huit ans
- Autodécharge : 10-15 % par mois, 10-15 % durant les premières 24 h
- Énergie/Poids : 30 à 80 Wh/kg
- Énergie/Volume : 140 à 300 Wh/l

1) Fonctionnement d'accumulateur Nickel-Métal Hydrure :

➤ Décharge d'accumulateur :

Les électrodes sont le siège de réactions d'oxydoréduction véhiculant des électrons d'une électrode à une autre par le biais des ions OH⁻ de l'électrolyte. Ce dernier est composé principalement d'hydroxyde de potassium KOH.[9]

Électrode positive : $\text{NiOOH} + \text{H}_2\text{O} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ni(OH)}_2 + \text{OH}^-$

Électrode négative : $\text{MH} + \text{OH}^- \rightarrow \text{M} + \text{H}_2\text{O} + \text{e}^-$

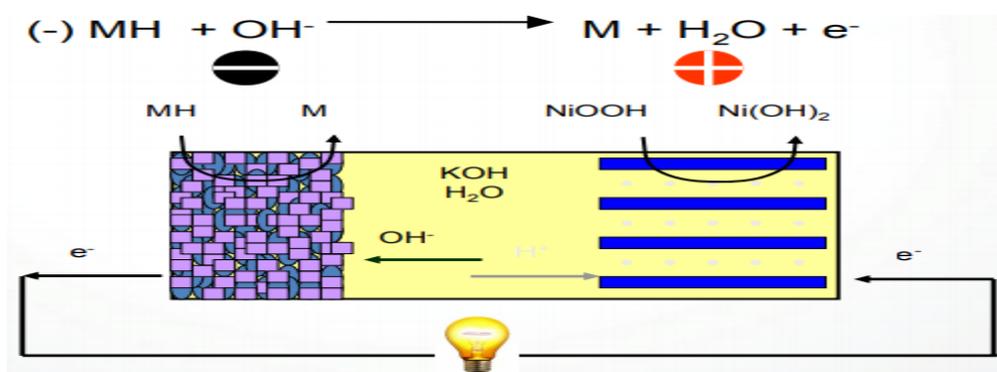


Figure 1.25 : Décharge d'accumulateur NiMh

➤ Charge d'accumulateur :

Les réactions sont réversibles, comme indiquées pour la recharge.[9]

Électrode positive : $\text{Ni(OH)}_2 + \text{OH}^- \rightarrow \text{NiOOH} + \text{H}_2\text{O} + \text{e}^-$

Électrode négative : $\text{M} + \text{H}_2\text{O} + \text{e}^- \rightarrow \text{MH} + \text{OH}^-$ [28]

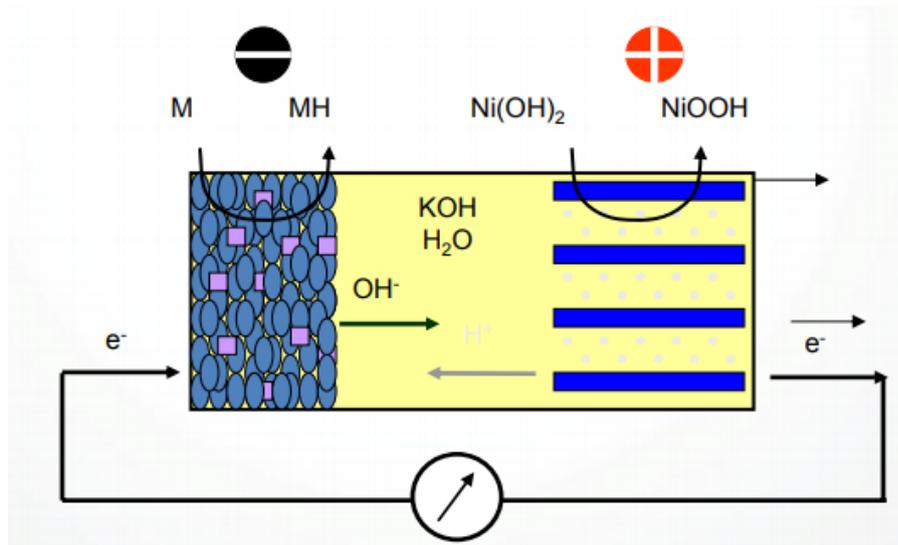


Figure 1.26 : Charge d'accumulateur NiMh

1.5.8 Les batteries solaires:

Avec le développement de l'autoconsommation solaire, le stockage solaire est la solution innovante pour consommer sa propre électricité tout au long de la journée.

Une batterie de stockage est un complément idéal à toute installation photovoltaïque pour palier l'intermittence de la production solaire. Les installations solaires produisent de l'électricité en journée et l'électricité solaire doit être consommée simultanément. Alors que la consommation électrique est généralement plus importante le matin et le soir, lorsque les panneaux ne produisent plus. Et faute de pouvoir être utilisée, cette énergie est souvent réinjectée sur le réseau. Une batterie permet de stocker ce surplus d'électricité pour l'utiliser quand vous en avez le plus besoin.[29]

1.5.8.1 Définition d'une batterie solaire :

Les batteries solaires stockent l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques afin d'assurer l'alimentation électrique en toutes circonstances (jour ou nuit, ciel dégagé ou couvert). Une batterie utilisée avec des panneaux solaires ou une éolienne est une batterie à décharge lente (appelée aussi batterie solaire). Ces batteries sont spécifiquement conçues pour les applications solaires ou éoliennes. Elles n'ont pas les mêmes caractéristiques qu'une batterie de voiture par exemple, elles se déchargent plus progressivement et supportent mieux les décharges fréquentes peu profondes.[30]

1.5.8.2 Spécifications de l'évaluation de batterie solaire

Il y a certaines spécifications que vous devez utiliser lors de l'évaluation de vos options de batterie solaire, telles que la durée de vie de la batterie solaire ou la puissance qu'elle peut fournir. Ci-dessous, découvrez tous les critères que

vous devez utiliser pour comparer les options de stockage d'énergie de votre maison, ainsi que les différents types de batteries solaires.

Lorsque vous envisagez vos options de stockage solaire plus, vous rencontrerez de nombreuses spécifications de produits complexes. Les plus importants à utiliser lors de votre évaluation sont la capacité et la puissance nominale de la batterie, la profondeur de décharge (DOD), l'efficacité aller-retour, la garantie et le fabricant.[31]

1.5.8.3 Les technologies des batteries solaires

Il existe quatre principaux types de batteries utilisées pour le stockage de l'électricité à partir de systèmes d'énergie solaire. Vous trouverez ci-dessous un résumé des différentes technologies actuellement disponibles dans le commerce :

Batteries Plomb-acide :

Jusqu'à très récemment, la seule technologie de batterie pratique pour stocker l'électricité solaire était les batteries au plomb.

Il s'agit du même type de batterie que vous avez dans votre voiture, mais les versions à stockage solaire sont généralement beaucoup plus hautes (comme indiqué sur l'image).

Vous avez besoin d'une batterie de ces batteries pour alimenter votre maison, idéalement stockée dans un hangar climatisé, car la chaleur réduira considérablement leur durée de vie.

Pour les Australiens sans accès au réseau, les batteries au plomb sont toujours le choix par défaut car elles sont une technologie éprouvée.

Les batteries au plomb ont cependant un certain nombre d'inconvénients :

- Ils occupent beaucoup d'espace et beaucoup d'entre eux émettent de l'hydrogène gazeux. D'où la nécessité d'une remise à batterie.
- Ils ont une faible durée de vie (1000-3000 cycles), ce qui signifie que, selon le nombre de fois par jour que vous les chargez et les déchargez, ils ne dureront que 2 à 8 ans.
- Ils ont généralement une profondeur de décharge d'environ 60%. Cela signifie que vous ne pouvez utiliser que 60% de leur capacité - sinon vous paralysez leur durée de vie.
- Leurs performances sont indiquées à environ 20 °C ambiant - ce qui signifie que si votre abri de batterie devient plus chaud que cela, leurs performances et leur durée de vie se dégraderont.
- La demande la plus courante pour les batteries au plomb est un ménage rural qui installe une banque de batteries + solaire, car c'est moins cher que de payer des dizaines de milliers pour étendre le réseau jusqu'à sa maison.

✚ **Entretien des batteries acide-plomb :**

L'entretien des batteries consiste essentiellement à réaliser 2 opérations :

- Mise à niveau du volume d'eau de l'électrolyte.
- Nettoyage des batteries en cas de sulfatation.

✓ **Mise à niveau du volume d'eau :**

Comme nous l'avons vu, l'électrolyse de l'eau se produit lors de la charge des batteries (et plus particulièrement lors de la surcharge). Cette réaction transforme l'eau H_2O en dihydrogène H_2 et dioxygène O_2 .

Les batteries ouvertes laissent s'échapper ces 2 gaz. Par conséquent, l'électrolyte perd de l'eau, au fil des cycles décharges/charges. Il convient donc d'effectuer périodiquement des opérations de remplissage de l'électrolyte avec de l'eau distillée (eau pure). Cette opération est à effectuer en moyenne tous les 3 mois. Néanmoins, il est important que l'utilisateur contrôle assez régulièrement le niveau de l'électrolyte des batteries et s'assure que le niveau n'est pas trop bas. Pour ce faire, il pourra utiliser les repères inscrits sur les batteries (voir photographie ci-contre). Cette opération de remplissage avec de l'eau distillée n'est pas compliquée et peut être effectuée par l'utilisateur averti. Cas des batteries étanches. Les batteries étanches recombinent le dihydrogène et le dioxygène en eau. De ce fait, ces batteries ne nécessitent pas d'opération de maintenance relative à la mise à niveau du niveau d'électrolyte.

✓ **Nettoyage des batteries :**

Si les bornes des batteries sont sulfatées (voir chapitre "Décharge profonde & Phénomène de sulfatation"), il convient de les nettoyer avec de l'eau et du bicarbonate de soude (agent nettoyant, biodégradable et non-toxique), et les gratter à la brosse métallique. Ensuite, il est d'usage de les enduire de graisse pour les protéger.[32]

Batterie solaire étanche au GEL:

Les batteries à électrolyte gel sont des batteries au plomb à régulation par soupape. Dans une batterie au gel, l'électrolyte ne coule pas comme un liquide normal. L'électrolyte a la consistance et l'apparence de la vaseline. Ceux-ci sont considérés comme "non déversables".

La condition « sans acide » du gel et des batteries AGM protège les plaques lors de fortes décharges profondes. La batterie gel est plus affamée qu'une batterie AGM, ce qui donne plus de protection à la plaque ; par conséquent, il est mieux adapté aux applications de décharge ultra-profondes.

1) Avantage des batteries Gel :

- Les batteries gel sont des batteries étanches : pas d'entretien, pas d'ajout d'eau distillée. Sécurité renforcée par rapport aux batteries plomb ouvert.
- Les batteries « gel » sont bien adaptées pour les décharges profondes et sont utilisées dans des batteries tubulaires car l'électrolyte gélifié élimine la stratification de l'électrolyte qui est une des causes principales de la perte des batteries tubulaires ouvertes.
- Une batterie gel peut supporter la décharge à 100 % et retrouve sa capacité nominale si le temps de maintien déchargé est court.
- Bonne à très bonne durée de vie en cyclage : les meilleures batteries gel comme les batteries Solar Block 12 V Sonnenschein atteignent 2500 cycles à 50 % de décharge, soit une durée de vie de 6 -10 ans en application solaire.
- Durée de vie > 10 ans pour les batteries gel 2V tubulaires.

2) Inconvénients des batteries Gel :

- La résistance interne de ce type de batterie est relativement élevée et elles ne supportent donc pas des vitesses de charge et de décharge élevées. En continu, le courant de charge ne doit pas excéder C/10.
- Les batteries gel sont donc rechargées relativement lentement. Ce point est important quand les batteries sont utilisées pour le stockage de l'énergie solaire (voir page sur le choix des batteries solaires).
- Plus que pour les autres batteries plomb, les paramètres de charge (tension de floating, charge et égalisation...) doivent être respectés précisément : un fabricant de batterie Gel écrit que si la tension de charge dépasse de 0,7 V la tension spécifiée, la durée de vie des batteries est amputée de 60 % !
- A noter que la tension seuil de charge des batteries gel est de 0,2V inférieure aux autres types de batteries plomb-acide.
- Comme pour les autres batteries Plomb, la durée de vie des batteries Gel est négativement affectée par une hausse de la température (au delà de 20 °C, - 50% pour la durée de vie par tranche de 10°C pour les batteries Plaques Planes, - 30% pour les plaques tubulaires). La tension de charge variant avec la température, les batteries gel peuvent être doublement affectées si le chargeur et/ou le régulateur de charge n'est pas équipée d'une compensation en température. Cette compensation n'est généralement indispensable que si la température des batteries varie en dehors d'une plage définie par le fabricant (15°C - 35°C pour Sonnenschein).[33]

Batterie solaire étanche AGM :

Sur les batteries plomb AGM, il est souvent écrit « VRLA », ce qui signifie en anglais « Valve Regulated Lead Acid ». Cela désigne comment a été conçue la batterie : elle est équipée d'une valve qui renouvelle automatiquement la production

d'énergie sans avoir à remplir la batterie d'acide, composant qui fabrique l'électrolyte.

Lorsqu'il est précisé que la batterie plomb est dotée de la technologie AGM (Absorbed Glass Mat) cela signifie qu'à l'intérieur de la batterie AGM se trouvent des buvards en fibre de verre, situés entre les électrodes – dans lesquels l'acide est stocké.

1) Les avantages des batteries plomb étanche AGM :

- Déale pour les applications en charge permanente (floating)
- Pas d'entretien : grâce au système de recombinaison des gazs.
- Peu polluant : 99% du plomb est recyclable
- Technologie bon marché : à capacité élevée, le prix reste abordable.
- Technologie robuste : bonne résistance aux surcharges

2) Les inconvénients des batteries plomb étanche AGM :

- Pas idéale pour des applications en cyclage
- Certains modèles n'apprécient pas la décharge totale : si les décharges sont répétitives, la durée de vie sera altérée.
- Le chargement de la batterie doit être précis afin d'éviter la surcharge et d'optimiser la durée de vie de la batterie.[34]

Batterie solaire étanche Plomb-Carbone

Une batterie au plomb-carbone est une évolution de la technologie traditionnelle au plomb-acide VRLA AGM.

Dans une batterie au plomb, du carbone est ajouté à la plaque négative, ce qui se traduit par une durée de vie beaucoup plus longue. En fait, le carbone ajouté confère à l'électrode de batterie de nombreuses propriétés d'un super condensateur, ce qui améliore les performances de charge et de décharge.

Les performances en état de charge partielle (PSoC) sont également nettement améliorées, avec pratiquement aucune sulfatation entre 30 et 70% de SoC. La sulfatation est l'une des principales causes de défaillance des batteries au plomb traditionnelles et est généralement causée par une charge et un vieillissement partiel.

La sulfatation se produit lorsque des cristaux de sulfate se développent sur la plaque négative. En utilisation normale, la plupart de ces cristaux sont réabsorbés lorsque la batterie est chargée - cependant, lorsque la batterie est laissée dans un PSoC, certains de ces cristaux se fixent de manière permanente à la plaque négative. Cela réduit à son tour la surface sur la plaque négative, ce qui réduit à son tour la capacité des batteries.[35]

1) Les avantages des batteries Plomb-Carbone.

- Moins de sulfatation de l'électrode négative grâce au carbone

- Nombre de cycles plus élevé que pour une batterie plomb (agm, gel)
- Tension de charge inférieure à celle d'une batterie plomb classique : la batterie se recharge plus vite
- Plage de température plus grande qu'une batterie plomb classique (agm, gel)
- Transport, stockage et utilisation en toute sécurité : la batterie plomb carbone a fait ses preuves
- Longue durée de vie (10 ans)
- Taux de recyclage de 97% des batteries plomb carbone (là où le recyclage des batteries lithium reste un problème)

2) Inconvénients de la batterie plomb carbone :

- Volumineuse et lourde comme une batterie plomb classique
- Faible résistance aux décharges profondes (contrairement à une batterie lithium)
- Nombre de cycle limité par rapport à une batterie lithium
- Ne peut pas être stockée déchargée
- Coût plus élevé qu'une batterie plomb classique, mais moins onéreuse qu'une batterie lithium [36]

Batterie solaire Lithium :

Les batteries au lithium sont devenues une source d'alimentation incontournable pour la quasi-totalité des appareils portables. Ordinateur portable ou téléphone mobile : pratiquement tous vos appareils intègrent une fine batterie au lithium qui permet de les alimenter dans tous vos déplacements. Si le choix des batteries au lithium se justifie par leurs nombreux avantages, cette solution présente également certaines limites. Passons en revue les avantages et inconvénients du type de batterie le plus populaire au monde.[37]

1) Avantage des batteries solaire lithium :

- Des capacités de stockage en constante amélioration
- Pas d'entretien
- Une durée de vie importante
- Légères et petites
- Des batteries qui peuvent se brancher au réseau

2) Inconvénients des batteries solaires lithium :

- Une technologie chère à fabriquer
- Restriction dans l'approvisionnement et le transport
- Elles nécessitent une protection[38]

Notre batterie solaire utilisé (batterie solaire étanches 100 ah):

Les batteries solaires étanches AGM sont adaptées au cyclage quotidien et à la charge lente par panneaux solaire leur durée de vie est considérablement augmentée si la profondeur de décharge quotidienne reste comprise entre 15% et 25% de la capacité totale.

Tension nominale [V]	12
Capacité nominale (10HR) [Ah]	100
Résistance interne [mΩ]	≈4.0
Capacité nominale [Ah] 10 heures (6.5A)	100
Capacité nominale [Ah] 20 heures (3.25A)	103
Capacité nominale [Ah] 120 heures (0.53A)	108.3
Capacité nominale [Ah] 240 heures (0.27A)	109.5
Fonctionnement par température [40°C]	103%
Fonctionnement par température [25°C]	100%
Fonctionnement par température [0°C]	86%
Weight±3% [Kg]	Approx 30.0
Dimension (L*W*H) [mm]	331*173*224

Tableau 1.04 : Les caractéristiques nominale de batterie solaire étanches 100 ah

1.6 Commande PWM:

1.6.1 Définition :

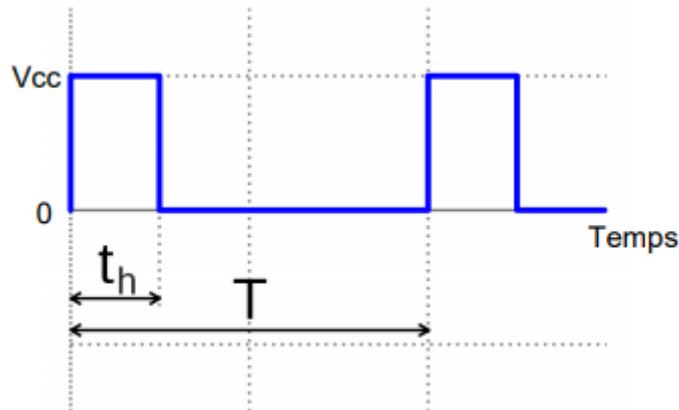
Le PWM est un signal numérique, donc la tension peut prendre deux valeurs seulement.

Dans certains cas très spécifiques (onduleurs à MLI par exemple) on fabrique un troisième niveau

En inversant la tension du niveau haut.

Le signal est carré. Le niveau bas correspond généralement à 0 Volt. La période est notée T

Durée de l'impulsion (pour laquelle la tension est celle de l'état haut) est appelée th.



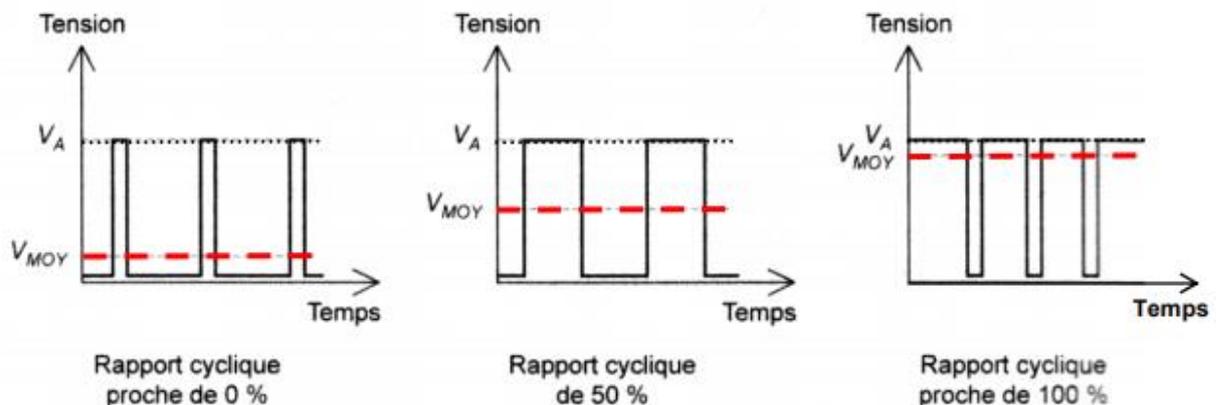
Courbe 1.13 : courbe d'impulsion

Si la période change, le signal n'est plus vraiment périodique au sens strict. On appelle alors T la pseudo période.[14]

Fréquence

La commande d'actionneurs de puissance par PWM est très liée à la notion de fréquence. Pour que l'impression d'une valeur moyenne constante d'allumage apparaisse, il faut que l'alternance d'allumage/extinction soit suffisamment rapide pour qu'elle ne se remarque pas.

Selon les utilisations la fréquence du PWM va de 100 Hz (100 cycles par seconde) à 200 kHz.

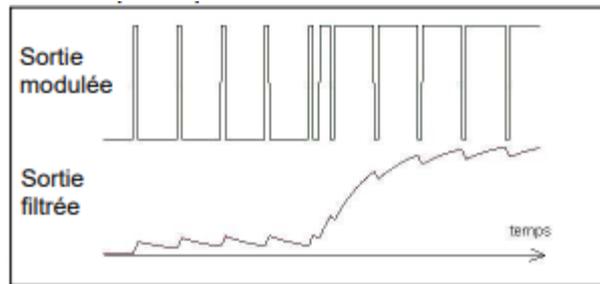


Courbe 1.14 : le rapport cyclique de commande PWM

Même si le signal n'est nullement une tension analogique, il peut le devenir si on lui fait subir un filtrage de type passe-bas.

Filtrer ce signal carré permet d'obtenir la tension moyenne. La fréquence de coupure du filtre doit être plus faible que la fréquence du signal carré. Autrement dit la fréquence porteuse doit être significativement supérieure à

la fréquence de coupure du filtre, pour que l'ondulation résiduelle soit faible.[15]



Courbe 1.15 : courbe de filtrage

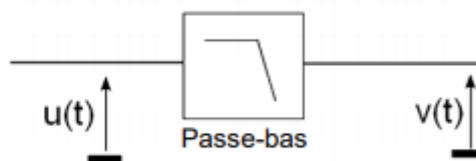


Figure 1.27 : symbole de filtrage

Rapport cyclique :

On appelle rapport cyclique le rapport :

$\alpha = 100 \times (Th/T)$ exprimé en pourcentage.

Si $Th = 0$ alors $\alpha = 0\%$ et la tension moyenne de sortie est nulle.

Si $Th = T$ alors $\alpha = 100\%$ et la tension moyenne de sortie est égale à V_{cc} .

1.6.1.1 Les algorithmes de charge

Avant de procéder à la charge d'une batterie, il est nécessaire de préciser son type, la façon de sa décharge, le temps nécessaire pour sa charge, sa température extrême de fonctionnement et sa tension nominale.

En pratique, on trouve plusieurs méthodes pour charger les batteries au plomb ; les plus courantes sont :

1/ Charge à tension constante :

Cette méthode est très efficace surtout dans le cas où le banc batterie est petit. Par cette méthode, le régulateur contrôle le courant de charge de telle sorte que la tension de la batterie soit maintenue à un niveau de régulation VR. Au début, la batterie se charge par un courant de valeur acceptable 'généralement le maximum de courant' ensuite, il diminue graduellement afin de maintenir la tension constante aux bornes de la batterie.

2/ Charge à courant constant :

Cette méthode est très efficace surtout dans le cas où le banc batterie est grand.

Dans ce cas, le régulateur fonctionne comme un interrupteur on/off, il contrôle la tension de la batterie, jusqu'à ce qu'elle atteigne une valeur prédéterminée VR (voltage régulation) où il interrompt le courant de charge. Le module PV demeure déconnecté de la batterie jusqu'à où la tension de cette dernière diminue à une valeur AR V (ArrayReconnect Voltage) et le courant de charge se rétablit. Ainsi la tension de la batterie bascule entre ces deux seuils.

3/ Algorithme de charge en trois étapes :

Les utilisateurs des batteries ont remarqué qu'il existe une grande différence entre les deux méthodes de charges chacune a ses avantages et ses inconvénients. Pour aboutir aux meilleures performances, ils ont distingué qu'ils peuvent combiner ces deux méthodes en un seul algorithme dit : « Algorithme de charge en trois étapes » où une phase de charge à courant constant est suivie par deux phases de charge à tension constante. Cet algorithme intègre les avantages du charge à courant constant : d'égaliser et de charger rapidement la batterie et les avantages de charge à tension constante : d'un contrôle performe du surcharge.

1.6.1.2 Trois étapes de charge PWM :

1) Charge en vrac :

Bulk Stage L'UN des principaux objectifs d'un chargeur de batterie est de recharger une batterie. Cette première étape correspond généralement à l'utilisation effective de la tension et de l'ampérage les plus élevés pour lesquels le chargeur est conçu. Le niveau de charge pouvant être appliqué sans surchauffer la batterie est appelé taux d'absorption naturelle de la batterie. Pour une batterie AGM 12 volts typique, la tension de charge d'une batterie atteindra 14,6-14,8 volts, tandis que les batteries noyées peuvent être encore plus élevées. Pour la batterie gel, la tension ne doit pas dépasser 14,2-14,3 volts. Si le chargeur est un chargeur de 10 ampères et que la résistance de la batterie le permet, le chargeur éteindra 10 ampères au maximum. Cette étape rechargera les batteries qui sont gravement épuisées. Il n'y a pas de risque de surcharge dans cette phase car la batterie n'est pas encore complètement remplie.

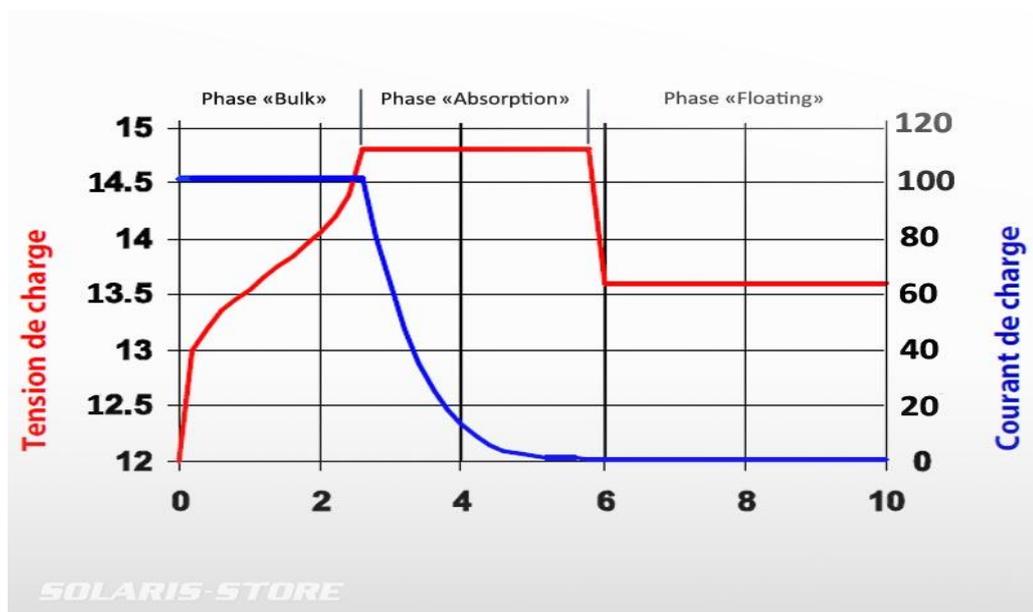
2) Charge d'absorption :

Absorption Les chargeurs StageSmart détectent la tension et la résistance de la batterie avant la charge. Après avoir lu la batterie, le

chargeur détermine le niveau auquel charger correctement. Une fois que la batterie a atteint 80% d'état de charge, le chargeur entre en phase d'absorption. À ce stade, la plupart des chargeurs maintiendront une tension constante, tandis que l'intensité diminuera. Le courant inférieur alimentant la batterie en toute sécurité fait monter la charge de la batterie sans la surchauffer. Cette étape prend plus de temps. Par exemple, le dernier 20% restant de la batterie prend beaucoup plus de temps par rapport aux 20% premiers au cours de la phase en vrac. Le courant diminue continuellement jusqu'à ce que la batterie atteigne presque sa pleine capacité

3) Charge d'entretien :

Float Stage : Les chargeurs entrent en mode float dès 85% de l'état de charge, mais les autres commencent à un niveau proche de 95%. Quoi qu'il en soit, la phase d'entretien maintient la batterie au complet et maintient l'état de charge à 100%. La tension diminuera et restera stable à 13,2-13,4 volts, ce qui correspond à la tension maximale qu'une batterie de 12 volts peut contenir. Le courant diminuera également à un point où il est considéré comme un filet. C'est de là que vient le terme "chargeur d'entretien". Il s'agit essentiellement de la phase flottante où la batterie est chargée en permanence, mais uniquement à un taux sûr pour assurer un état de charge complet et rien de plus. La plupart des chargeurs intelligents ne s'éteignent pas à ce stade, mais il est tout à fait sûr de laisser une batterie en mode flottant pendant des mois, voire des années, à la fois.[16]



Courbe 1.16 : Courbes de charge

1.6.1.3 Caractéristiques d'un contrôleur de charge PWM

- Capacité à récupérer la capacité de la batterie perdue et à désulfater une batterie.
- Augmentez considérablement l'acceptation de la charge de la batterie.
- Égalisez les cellules de batterie dérivantes.
- Réduisez le chauffage et le dégagement de gaz de la batterie.
- Ajuster automatiquement pour le vieillissement de la batterie.
- Autorégulation des chutes de tension et des effets de la température dans les systèmes solaires

✓ Avantages de commande PWM

- bons marchés
- fonctionnent d'une manière identique quelle que soit la puissance de l'installation: 10W, 3000W
- conviennent bien aux températures élevées car moins de différence entre la tension du panneau et de la batterie

✓ Inconvénient de commande PWM

- les panneaux présentent une tension en circuit fermé supérieure à ce que nécessite une batterie au plomb (ex. : panneaux ~17.5V et batterie ~14.5V). On a donc toujours une perte de production...[17]

1.7 Onduleur:

De nos jours, les énergies renouvelables occupent une place beaucoup plus grande. Une forme d'énergie qui est de plus en plus utilisée et pour cause, cette source d'énergie est disponible presque partout. L'énergie produite sous forme continue, doit être ondulée pour pouvoir alimenter des charges alternatives ou l'injecter au réseau de distribution alternatif. C'est dans cet ordre d'idées que dans cet article, on doit concevoir et développer une partie de la chaîne photovoltaïque c'est-à-dire le système de conversion. Ce dernier nous permet d'obtenir un signal qui peut être utilisable pour les applications de tous les jours. Les onduleurs sont constitués de composants actifs et passifs sophistiqués et performants qui admettent cependant un certain nombre de limitations qui ne sont pas sans conséquence sur la synthèse des boucles de commande .

L'utilisation de Mosfet's de puissance sera mise de l'avant afin de permettre une fréquence de commutation plus grande. Par contre, un compromis

devra être fait puisqu'une fréquence de commutation plus grande implique de plus grandes pertes par commutation et l'échauffement des divers composants constituent cet onduleur et ainsi une diminution du rendement. De plus, le système final doit avoir le meilleur rendement possible tout en étant le plus abordable possible afin éventuellement de le rendre commercialisable. Il faut également faire une conception à la fois simple et optimale. Il est important de bien doser ces éléments car ils sont étroitement reliés, car un rendement élevé peut entraîner des coûts importants et une dimension non négligeable.

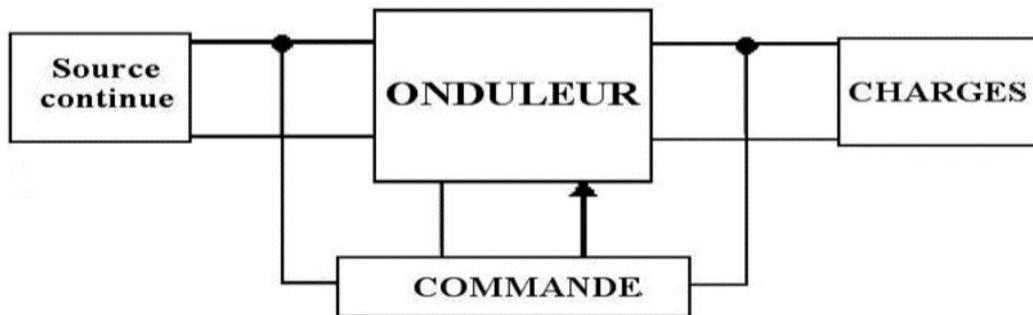


Figure 1.28 : Chaîne de conversion photovoltaïque

1.7.1 Concept technique des onduleurs photovoltaïques :

Les onduleurs sont des convertisseurs statiques de l'électronique de puissance. Ils sont utilisés dans tout système électrique où la transformation de la tension continue (V_{dc}) en tension alternative (V_{ac}) est nécessaire. Le concept de base des onduleurs est aisément compréhensible et il est indépendant de la technologie utilisée. La fonction principale de cet appareil est de créer une tension alternative à partir d'une tension continue. C'est pourquoi la partie centrale d'un onduleur est fréquemment constituée d'un pont à semi-conducteurs permettant de relier chacun des deux pôles d'entrée à chacun des deux pôles de sortie par le biais d'un interrupteur électronique (transistor).

Le schéma fonctionnel qui en résulte montre un onduleur en bon ordre de marche au niveau technique et pouvant être utilisé, tel quel pour l'alimentation de charge alternatives est représentée sur la figure ci-dessous.[6]

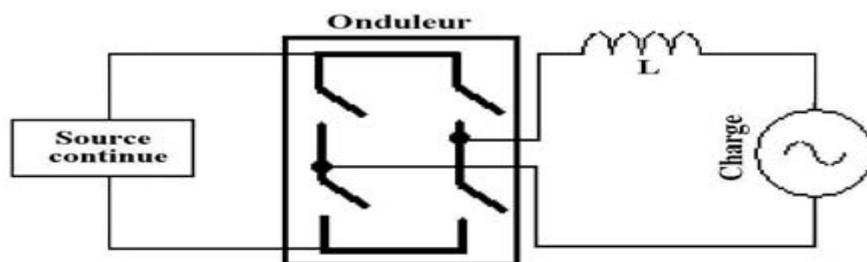


Figure 1.29 : Montage de base d'un onduleur photovoltaïque

1.7.2 Classification des onduleurs:

Une première classification peut être faite en distinguant : onduleurs non autonomes et onduleur autonome. Entre ces deux types d'onduleurs, il existe un type intermédiaire d'onduleur appelé onduleur à commutation par la charge « ou encore onduleur à résonance »

1.7.2.1 Onduleur non autonome:

C'est le nom donné au montage redresseur tous les thyristors (pont de Graëtz) qui, en commutation naturelle assistée par le réseau auquel il est raccordé, permet un fonctionnement en onduleur (par exemple par récupération de l'énergie lors des périodes de freinage dans les entraînements à moteurs électriques). À la base du développement des entraînements statiques à vitesse variable pour moteurs à courant continu et alternatif, cyclo convertisseurs, onduleurs de courant pour machines synchrones et asynchrones, jusqu'à des puissances de plusieurs MW, ce type de montage est progressivement supplanté, au profit de convertisseurs à IGBT ou GTO.

1.7.2.2 Onduleurs autonomes:

Un onduleur est dit autonome s'il utilise l'énergie d'un circuit auxiliaire propre à lui pour la commutation des thyristors ou l'autre semi-conducteurs dans ce cas nous commandons la fréquence la forme d'onde de la tension de sortie. On distingue deux types d'onduleurs autonomes :

- Les onduleurs de tension alimentée par une source de tension continue.
- Les onduleurs de courant alimentés par une source de courant continu.

1.7.2.2.1 Onduleurs (autonomes) de tension :

Un onduleur de tension est un onduleur qui est alimenté par une source de tension continue (source d'impédance interne négligeable), la tension « u » n'est pas affecté par les variations du courant « i » qui la traverse, la source continue impose la tension à l'entrée de l'onduleur et donc à sa sortie. Le courant à la sortie « i' » et donc le courant à l'entrée « i » dépendent de la charge placée du côté alternatif. Cette charge peut être quelconque à la seule condition qu'il ne s'agisse pas d'une autre source de tension (capacité ou f.e.m alternative) directement branchée entre les bornes de sortie.

1.7.2.2.2 Onduleurs (autonomes) du courant:

Un onduleur de courant (souvent appelé commutateur de courant) est alimenté par une source de courant continu, c'est -à - dire par une source d'inductance interne si grande que le courant « i » qui la traverse ne peut être affecté par les variations de la tension « u » à ses bornes.

1.7.2.2.3 Onduleurs à résonance:

Les onduleurs à résonance sont des onduleurs de tension ou de courant à un créneau par alternance fonctionnant dans des conditions particulières. La charge doit être un circuit oscillant peu amorti. On commande les interrupteurs par une fréquence voisine de la fréquence de résonance de la

charge. Si celle-ci varie, il faut faire varier la fréquence de commande. L'onduleur doit donc être piloté par la charge, il n'est plus autonome.[7]

1.7.2.3 Types d'onduleurs de tension:

1.7.2.3.1 Les onduleurs monophasés:

Pour obtenir une tension alternative à partir d'une tension continue en utilisant deux interrupteurs, il faut un point milieu, soit du côté de la sortie alternative, soit du côté de l'entrée continue, cela correspond à :

- L'onduleur monophasé avec transformateur de sortie à point milieu appelé onduleur push-pull.
- L'onduleur monophasé avec diviseur capacitif à l'entrée appelé onduleur en demi pont.

Si on veut varier la largeur relative des créneaux formant les alternances de la tension de sortie, il faut quatre interrupteurs c'est : l'onduleur monophasé en pont figure 30.

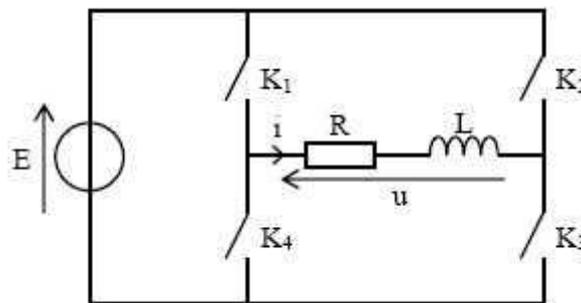


Figure 1.30 : Schéma de principe de l'onduleur monophasé

1.7.2.3.2 Les onduleurs triphasés:

L'onduleur de tension triphasé découle immédiatement de trois demi pont monophasé, on obtient l'onduleur triphasé à six interrupteurs.

Chaque demi pont comprend un thyristor (ou un transistor) et une diode.

La source de tension continue est obtenue à partir d'un pont redresseur.

Pour assurer la continuité des courants de sortie alternatif I_a , I_b , I_c , les interrupteurs S_1 , $S'1$ et S_2 , $S'2$, S_3 et $S'3$ doivent être complémentaires deux à deux.

On définit $S_i = (T_i, D_i)$. [8]

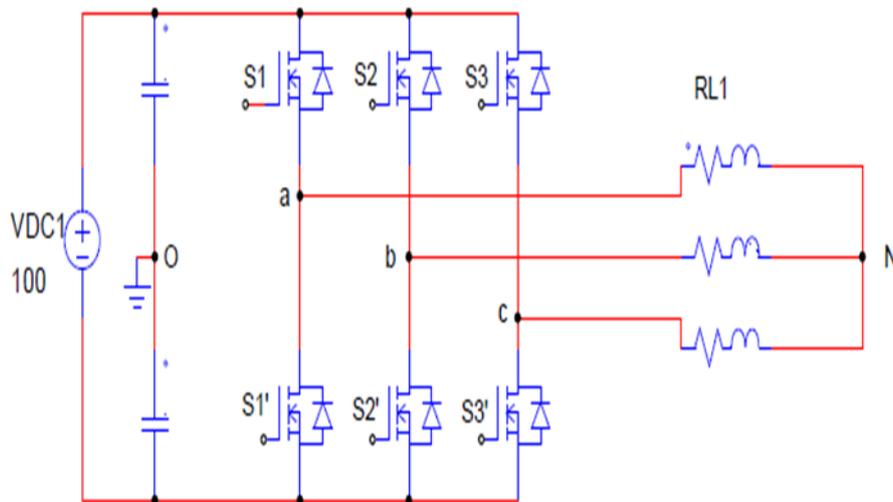


Figure 1.31 : Schéma d'onduleur de tension triphasé

1.7.2.3.3 Onduleur multiniveaux:

L'emploi de la technique MLI permet, en augmentant l'indice de modulation, de repousser les harmoniques vers des fréquences plus élevées. D'autre part, les résultats montrent que l'onduleur multiniveaux est de loin plus performant que l'onduleur à deux niveaux. Ces convertisseurs sont dits multiniveaux car ils génèrent des tensions formées de plusieurs niveaux (généralement plus de deux).

Les onduleurs multiniveaux permettent d'augmenter la tension de sortie des convertisseurs statiques au-delà des limites imposées par les semiconducteur.

La structure monophasée de l'onduleur multiniveaux asymétrique est représentée sur la Fig suivant :

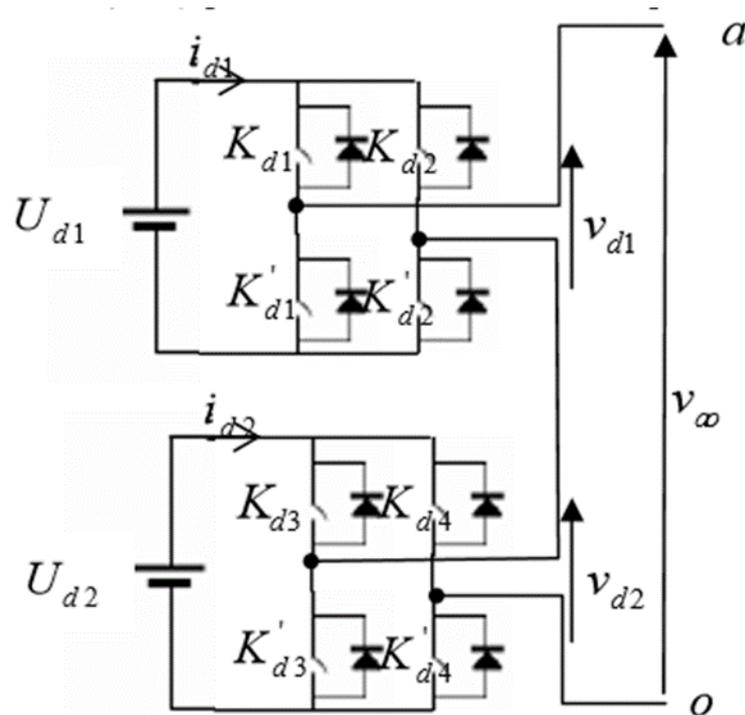


Figure 1.32 : Structure monophasée (d=1) d'un onduleur cascade à deux cellules

L'approche terminologique qui propose dans cette section facilite et rend uniforme le design des convertisseurs multiniveaux :

1) Concept de dissymétrie totale

Coefficient de dissymétrie totale λ_j . le rapport entre la tension continue U_{dj} aux bornes d'un onduleur partiel de rang $j=(1.2.....)$

$$\lambda_j = U_e / U_{dj}$$

$$U_e = 2 \sum_{j=1}^2 U_{dj}$$

2) Concept de dissymétrie partielle :

Concept de dissymétrie partielle caractérise le rapport entre les tensions qui alimentent deux onduleurs partiels de rangs consécutifs. Nous notons le coefficient de dissymétrie partielle

entre les convertisseurs de rang $j=1, j=2, \sigma = U_{d2} / U_{d1}$

3) Convertisseur multiniveaux symétrique (à cinq niveaux)

Jusqu'à présent, la plupart des investigations publiées sur la topologie de convertisseurs multiniveaux de type cascade considèrent des coefficients identiques, tels que :

$$\lambda_1 = \lambda_2 = 4$$

$$\sigma = 1$$

Les équations caractérisent un convertisseur multiniveaux symétrique, dont les onduleurs sont alimentés par des tensions continues ayant des valeurs identiques. Les études précédentes ont montré que la tension générée par le convertisseur peut prendre

$N=(2K+1)_{k=2}=5$ valeurs distinctes

$$U_1 = E/2; U_2 = U_1 = E/2$$

v_{d1}	v_{d2}	v_{ao}
$E/2$	$E/2$	E
$E/2$	0	$E/2$
0	$E/2$	
$E/2$	$-E/2$	0
0	0	
$-E/2$	$E/2$	
$-E/2$	0	$-E/2$
0	$-E/2$	
$-E/2$	$-E/2$	$-E$

Tableau 1.05 : deux cellules à ponts complets (5 niveaux)

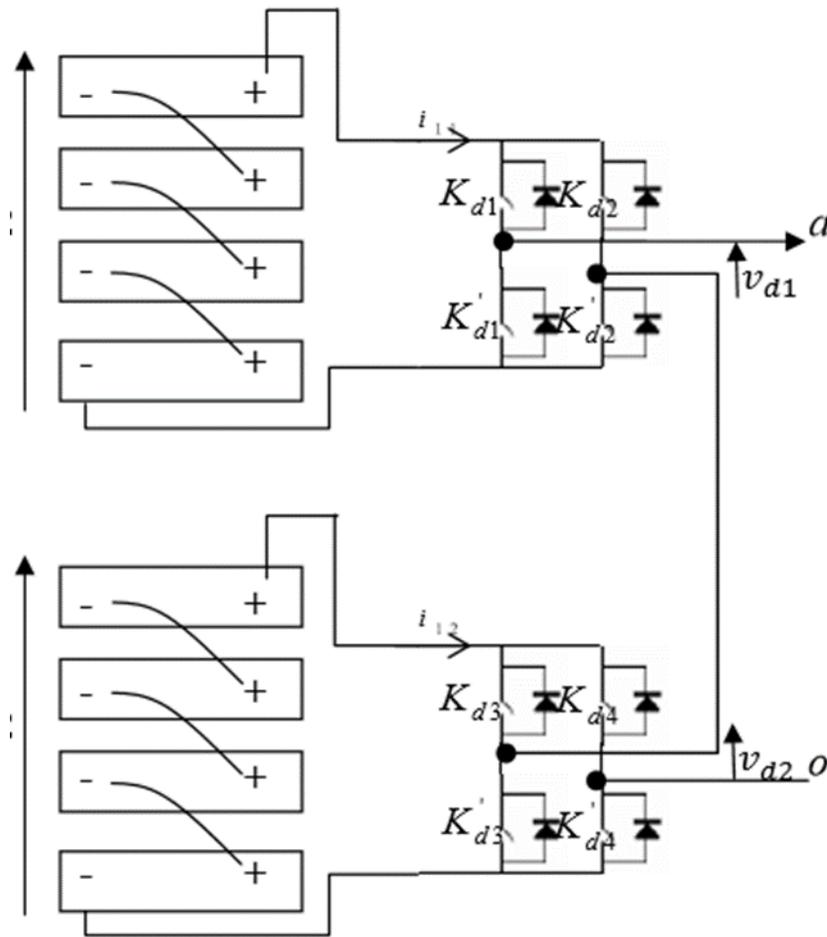


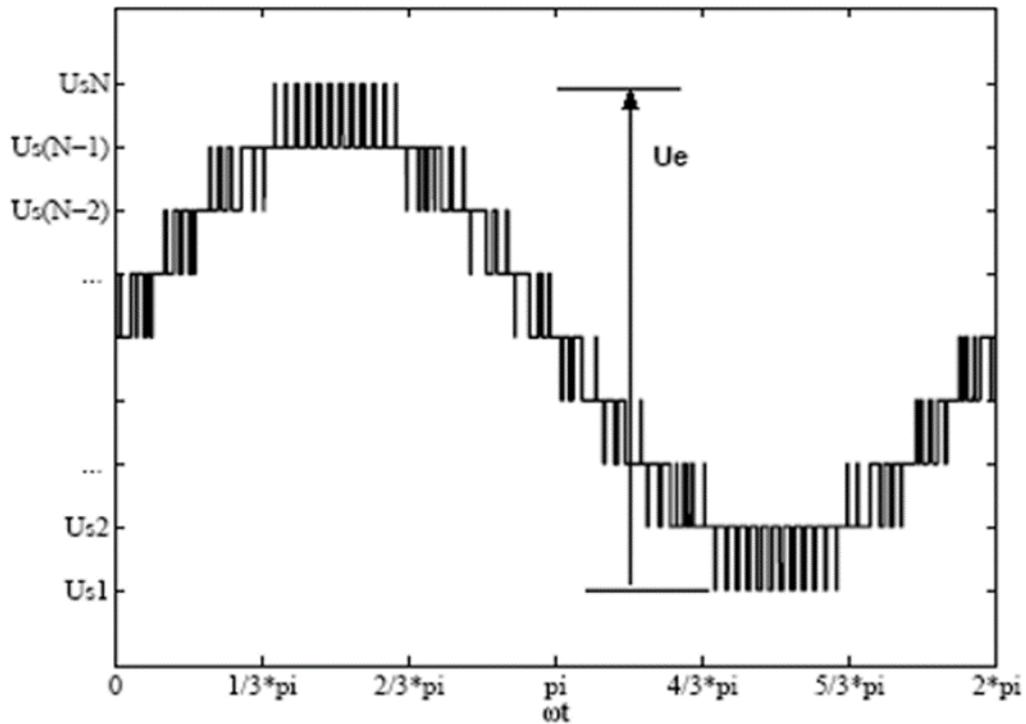
Figure 1.33 : Topologie d'un convertisseur symétrique à cinq niveaux (une seule phase)

4) Convertisseur multiniveaux asymétrique :

Dès lors que l'un au moins des coefficients λ_j est différent des autres, alors le convertisseur est considéré comme étant asymétrique. Dans ce cas, le coefficient σ est différent de 1

5) Convertisseurs multiniveaux à pas uniforme :

Un pas uniforme permet d'obtenir des lois de commande simples. Nous allons décrire les conditions que les tensions d'entrées doivent respecter pour obtenir l'uniformité du pas La figure suivante est représentée la forme de la tension généralement obtenue à la sortie d'un convertisseur multiniveaux quelconque. Correspond à la différence de potentiel entre la phase.[9]



Courbe 1.17 : forme d'onde d'un convertisseur multiniveaux

$$U_1 = E/3$$

$$U_2 = 2U_1 = 2E/3$$

v_{d1}	v_{d2}	v_{ao}
$E/3$	$2E/3$	E
0	$2E/3$	$2E/3$
$-E/3$	$2E/3$	$E/3$
$E/3$	0	
0	0	0
$E/3$	$-2E/3$	$-E/3$
$-E/3$	0	
0	$-2E/3$	$-2E/3$
$-E/3$	$-2E/3$	$-E$

Tableau 1.06 : Deux cellules à ponts complets (7 niveaux)

$$U_1 = E/4$$

$$U_2 = 3U_1 = 3E/4$$

v_{d1}	v_{d2}	v_{ao}
$E/4$	$3E/4$	E
0	$3E/4$	$3E/4$
$-E/4$	$3E/4$	$E/2$
$E/4$	0	$E/4$
0	0	0
$-E/4$	0	$-E/4$
$E/4$	$-3E/4$	$-E/2$
0	$-3E/4$	$-3E/4$
$-E/4$	$-3E/4$	$-E$

Tableau 1.07 : Des deux cellules à ponts complets (9 niveaux)

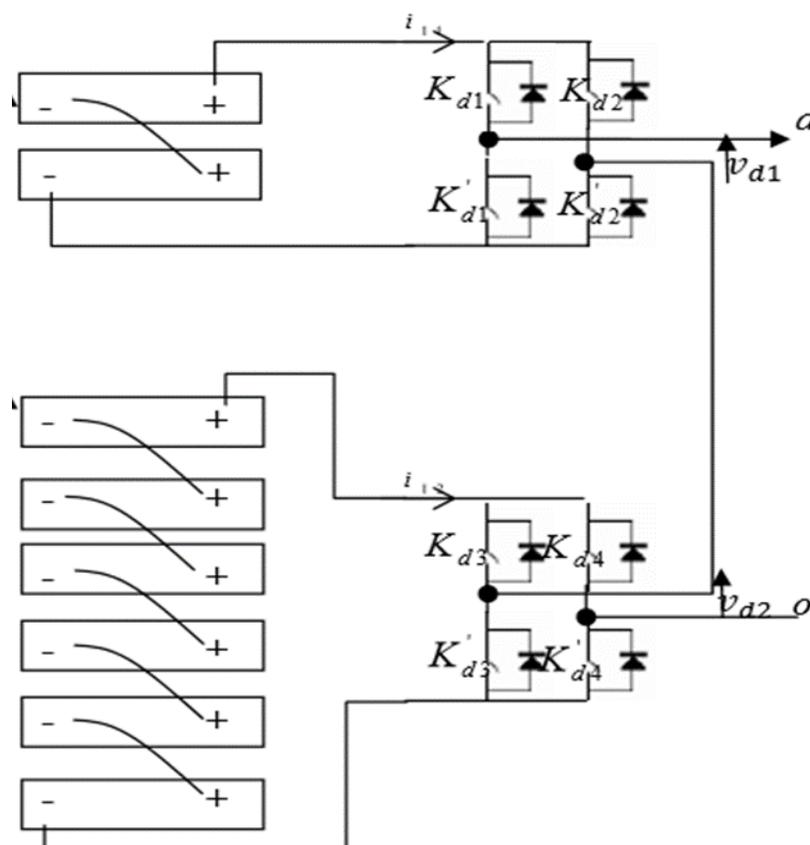


Figure 1.34 : Topologie d'un convertisseur asymétrique à neuf niveaux (une seule phase)

1.7.3 Fonctionnement d'onduleur SW3048E:

L'Onduleur/Chargeur Série SW peut être configuré comme une simple unité indépendante qui collabore avec votre générateur pour traiter des charges trop importantes pour ce dernier, permet aux générateurs à deux ou trois fils d'être allumés et éteints sur la base de la tension de la batterie ou de l'ampleur de l'intensité des charges, ou fonctionne en tant qu'onduleur électrique interactif (ce qui vous permet de renvoyer la puissance excessive vers le réseau électrique).

1.7.3.1 Théorie De Fonctionnement:

Les onduleurs Série SW sont des nouveaux modèles d'onduleurs brevetés. Ce modèle 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. Par essence, ces trois onduleurs sont liés les uns aux autres par leurs transformateurs.

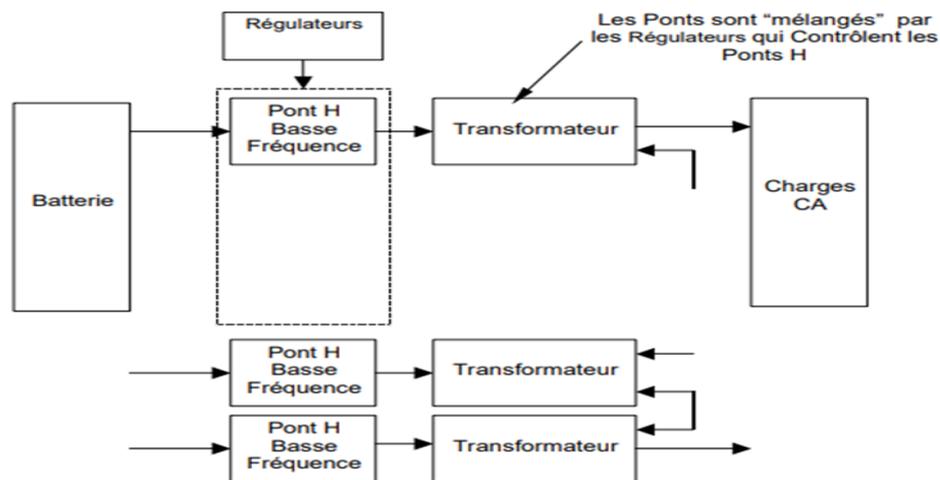
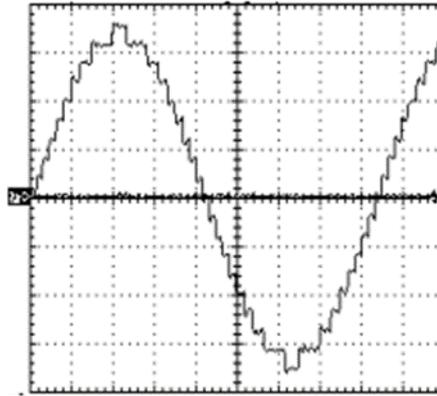


Figure 1.35 : Schéma Fonctionnel Simplifié de l'Onduleur Série SW Trace

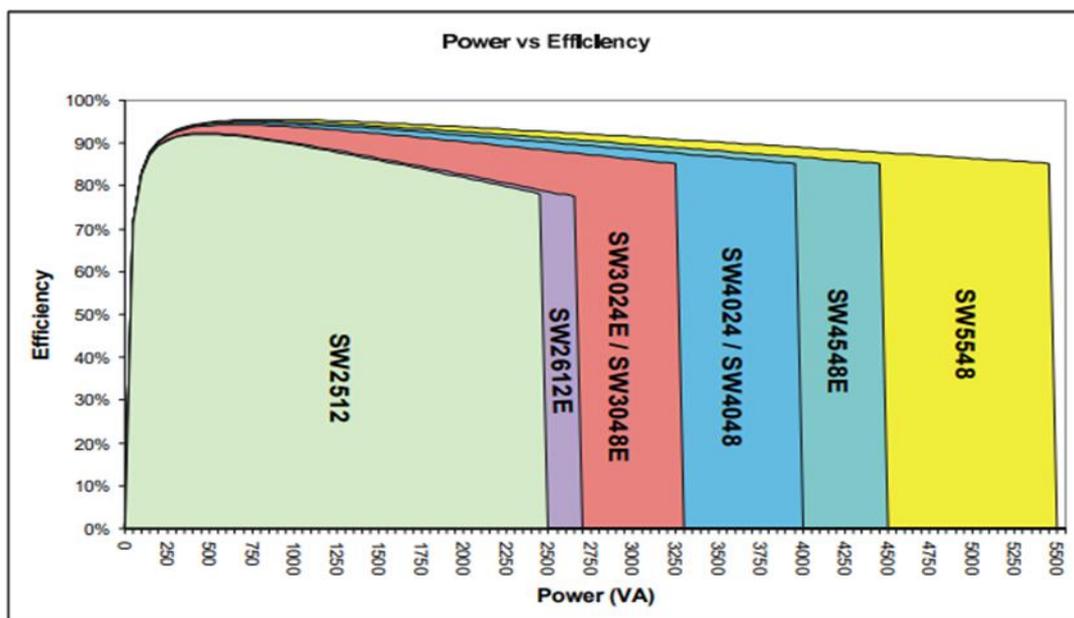
L'onduleur possède deux formats de base : onduleur indépendant (il convertit le CC en CA) ou onduleur en parallèle (sa sortie est synchronisée avec une autre source CA). En mode onduleur, seules des formes d'ondes de 60 Hz (50 Hz pour les unités d'exportation) sont créées. À mesure que la tension de la batterie s'élève, des formes d'ondes à paliers de moins en moins nombreux sont générées. Lorsque la tension diminue, plus de paliers sont utilisés. La tension de la batterie ayant tendance à chuter avec une charge intensifiée, la forme d'onde voit son nombre de paliers augmenter avec des charges CA plus lourdes.



Courbe 1.18 : Onde Sinusoïdale de Sortie de l'Onduleur Série SW

✚ Rendement :

Deux pertes élémentaires produisent la courbe de rendement de l'onduleur Série SW. La première est l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'onduleur à la tension de sortie maximum sans passage de courant. Il s'agit de la puissance de charge nulle, ou puissance déwattée. Á des niveaux bas de puissance, c'est la puissance déwattée qui contribue le plus aux pertes de rendement. Á un niveau élevé de puissance, la principale source de perte est le résultat de la résistance du transformateur et des transistors de puissance. La puissance ici perdue est proportionnelle au carré de la puissance de sortie. Par exemple, des pertes à 2000 watts seront quatre fois plus élevées que des pertes à 1000 watts. Ce graphique présente le rendement type d'un onduleur actionnant des charges ohmiques. Des charges inductives telles que les moteurs sont actionnés avec moins d'efficacité en raison de l'impact des pertes du facteur de puissance.

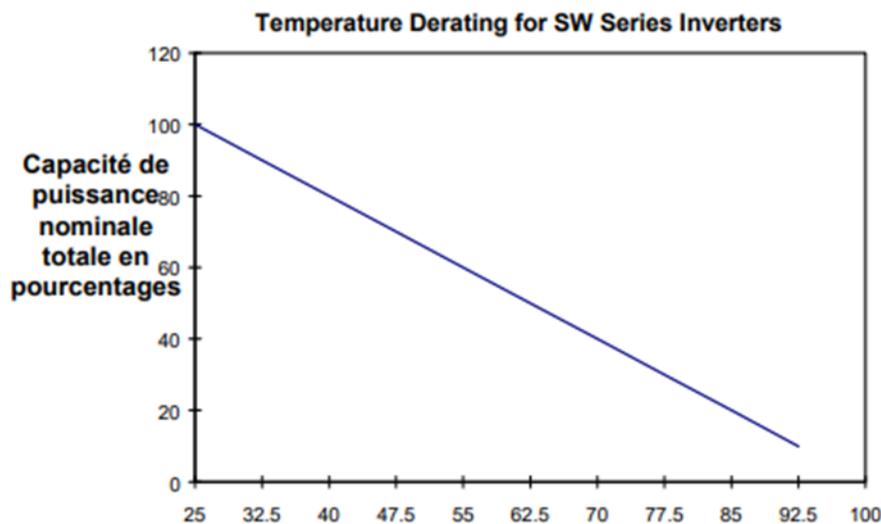


Courbe 1.19 : Courbes de Rendement Série SW Trace

✚ Température

Le circuit de protection du courant de l'Onduleur/Chargeur Série SW est compensé en température : la charge maximum pouvant être actionnée par l'onduleur change donc avec la température. Plus la température des dispositifs de puissance (FET) augmente, plus le courant admissible est réduit. Si le courant disponible est réduit, la capacité de l'onduleur à actionner des charges est elle aussi réduite.

Le graphique ci-dessous montre l'effet de la température sur la capacité de l'onduleur à actionner des charges ; vous remarquerez que la capacité de l'onduleur diminue au-dessus de 25 °C. La courbe de dérive thermique suppose que l'onduleur est au niveau de la mer et que la circulation de l'air dans l'onduleur est libre.



Courbe 1.20 : Capacité de l'Onduleur contre Température – Dérive Thermique pour les Onduleurs Série SW

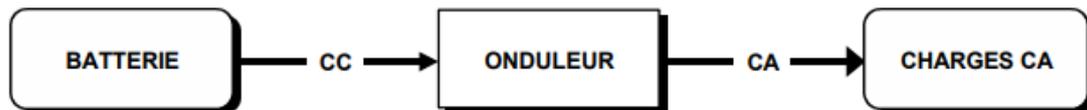
✚ Modes De fonctionnement

L'Onduleur/Chargeur Série SW peut être utilisé dans une vaste gamme et une large combinaison de modes de fonctionnement :

- Mode Onduleur
- Mode Chargeur
- Mode Onduleur/Chargeur
- Mode Soutien du Générateur
- Mode Contrôle Automatique du Générateur
- Mode de Secours Électrique

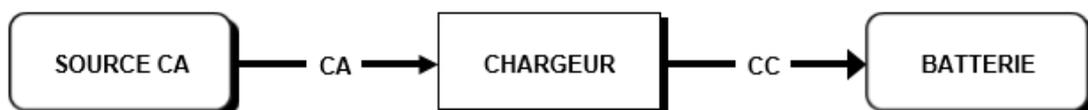
- Mode Électrique Interactif
- Mode Gestion de l'Énergie
- Mode Diminution de la Charge de Pointe
- Mode Transfert à cause de batterie Faible

1) INVERTER MODE (mode onduleur):



L'onduleur effectue une approche par paliers d'une onde sinusoïdale. Généralement, le nombre de paliers varie de 34 à 52 par cycle. Une tension basse de batterie et/ou un niveau de puissance utile haut augmente le nombre de paliers. Une tension élevée de batterie réduit le nombre de paliers. La distorsion varie de 3 à 5%. L'onduleur est en mesure de contrôler la tension de sortie CA, ce qui lui permet également de vendre la puissance dans un réseau électrique ou d'aider lors de l'opération de charges lourdes en fonctionnant en parallèle avec une autre source de puissance CA telle qu'un générateur commandé par moteur.

2) CHARGER MODE (MODE CHARGEUR)

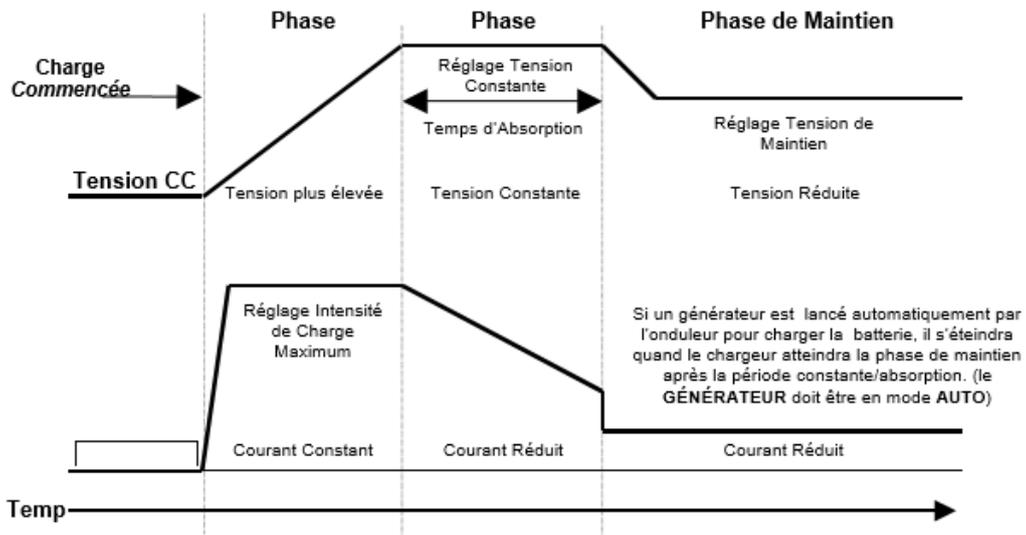


Lorsque la puissance CA est disponible, l'onduleur peut fonctionner en tant que chargeur de batterie très puissant avec une distorsion de courant faible. La puissance est prélevée tout au long du cycle CA. Ceci améliore les performances avec une tension d'entrée CA basse ou des petits générateurs .

L'Onduleur/Chargeur Série SW a la capacité de "diminuer" automatiquement la sortie du chargeur de la batterie afin d'empêcher la surcharge d'un générateur ou le déclenchement d'un coupe-circuit lorsque d'autres charges CA sont actionnées par l'onduleur. Ceci améliore la fiabilité du système et permet une plus grande utilisation de la puissance disponible. Le chargeur s'éteint également si la tension CA baisse jusqu'à un réglage ajustable de limite minimum V_{CA} . [39]

PROCESSUS DE CHARGE À TROIS PHASES :

Le cycle de charge comprend trois phases :



Courbe 1.21 : Charge à Trois Phases de la Batterie

1.8 Conclusion:

Il est toujours préférable de déterminer ce dont nous avons besoin en énergie et de voir les meilleurs composants disponibles pour exploiter la plus grande quantité d'énergie avec l'effort et le prix les plus bas possibles, nous devons donc savoir ce que nous voulons.

Chapitre 02

2 Chapitre : 02 /Dimensionnement manuel et installation d'un système PV autonome

2.1 Introduction:

Suite à l'évaluation des besoins électriques et du gisement solaire, il est à présent possible de dimensionner le champ photovoltaïque. Cette opération consiste simplement à calculer la puissance crête nécessaire au bon fonctionnement de l'installation.

L'objet de ce chapitre est de savoir dimensionner le champ photovoltaïque d'une installation photovoltaïque autonome.

2.2 L'évaluation du besoin énergétique du site :

2.2.1 Définition des besoins électrique:

La définition du besoin électrique est un travail préalable important impactant le dimensionnement du champ photovoltaïque et du parc de batteries. Une sous-estimation du besoin électrique provoquera des défauts de fonctionnement (coupure électrique, vieillissement prématuré des batteries), alors que sa surévaluation aura pour effet d'augmenter considérablement le coût de l'installation.

Cette partie dresse un inventaire des appareils consommateurs d'électricité, et fournit une méthode de calcul des besoins électriques. Calculer les besoins électriques consiste à calculer l'énergie électrique journalière consommée par les usagers. Ainsi, les besoins électriques s'exprimeront en Wh/jour (ou kWh/jour).

2.2.2 Guide pour l'évaluation du besoin énergétique :

1. Il convient d'identifier l'ensemble des appareils électriques qui seront alimentés par l'installation photovoltaïque autonome. Pour chacun de ces appareils, la puissance nominale de fonctionnement doit être identifiée. Pour cela, on pourra s'appuyer sur des mesures directement sur site, ou bien les indications inscrites sur les fiches techniques/signalétiques des appareils. En dernier recours, si aucune information n'est disponible, on pourra effectuer une approximation de la puissance électrique de l'appareil en s'inspirant de l'inventaire réalisé précédemment.
2. Ensuite, une estimation de la durée d'utilisation journalière devra être effectuée. En ce sens, il est primordial de connaître les habitudes des usagers (car ce sont bien eux qui utilisent, à leur guise, les appareils consommateurs d'énergie).
3. Le produit de la puissance électrique (en W) par temps d'utilisation (en h) indiquera l'énergie journalière consommée (en Wh) par l'appareil considéré. Dans le domaine de l'électricité, il est d'usage d'utiliser le W

et le Wh comme unités de mesure respectivement de la puissance et de l'énergie électriques.

- la somme des énergies journalières calculées donnera une évaluation globale des besoins électriques de projet.

Cette méthodologie peut s'effectuer facilement grâce à un tableau :

Les appareils	N :	Temps (h)	La puissance (w)	La puissance total (w)	La puissance de démarrage (w)	L'énergie consommée (wh)
Les appareils électriques qui seront alimentés par l'installation photovoltaïque	Le nombre de chaque appareil	Le temps du travail de chaque appareil	La puissance nominale de chaque appareil trouvé dans fiche technique	$P_n \cdot N = P_t$	Il ya des appareils avec courant de démarrage grand On peut trouve cette puissance dans la fiche technique	$P_t \cdot T = E_c$

2.2.3 L'évaluation du gisement solaire local :

2.2.3.1 Définition:

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

2.2.3.2 Les différents types de rayonnement :

A la surface terrestre, une cellule photovoltaïque peut recevoir un rayonnement incident qui présente 3 origines :

- 1) Le rayonnement solaire direct.**
- 2) Le rayonnement diffus :** qui est le rayonnement issu de toute la voute céleste. Le spectre du rayonnement diffus est plus riche en bleu que le rayonnement direct. Les cellules photovoltaïques sont bien sensibles au rayonnement diffus de la voute céleste, ce qui leur permet de produit de l'électricité même lorsqu'elle n'est pas soumise au rayonnement solaire direct.
- 3) Le rayonnement réfléchi :** par les obstacles tels que le sol ou les nuages. Ce rayonnement est appelé l'albédo. L'albédo d'un obstacle se quantifie par un coefficient d'albédo sans dimension compris entre 0 et 1. Ce coefficient est la fraction de l'énergie solaire réfléchi par rapport à l'énergie solaire incidente. Un corps noir disposerait donc d'un coefficient d'albédo égal à 0 (aucun rayonnement n'est réfléchi),

alors qu'un miroir présenterait un coefficient d'albédo égal à 1 (tout le rayonnement incident est réfléchi).

Valeurs moyennes du coefficient d'albédo en fonction du type de surface :

Type de surface	Valeur de coefficient d'albédo
• Herbe	• Entre 0.15 et 0.26
• Neige	• Entre 0.55 et 0.82
• Asphalte	• Entre 0.09 et 0.18
• Béton	• Entre 0.25 et 0.35
• Tuiles rouges	• ≈ 0.33
• Aluminium	• ≈ 0.85
• Acier galvanisé	• ≈ 0.35

2.2.3.3 Les méthodes de l'évaluation d'un gisement solaire :

Il y'a plusieurs sites de l'évaluation d'un gisement solaire comme :

- Logiciel meteonorm
- Données satellite
- Nasa SSE monde
- PV-Gis [Europe Afrique] Ce dernier le plus utilisable pour l'évaluation d'un gisement solaire basé sur des mesures satellitaires : Fiable et Gratuit

Remarque : dans notre pratique on a utilisé des appareils existe dans notre laboratoire

2.2.4 Dimensionnement des éléments d'installation PV autonome :

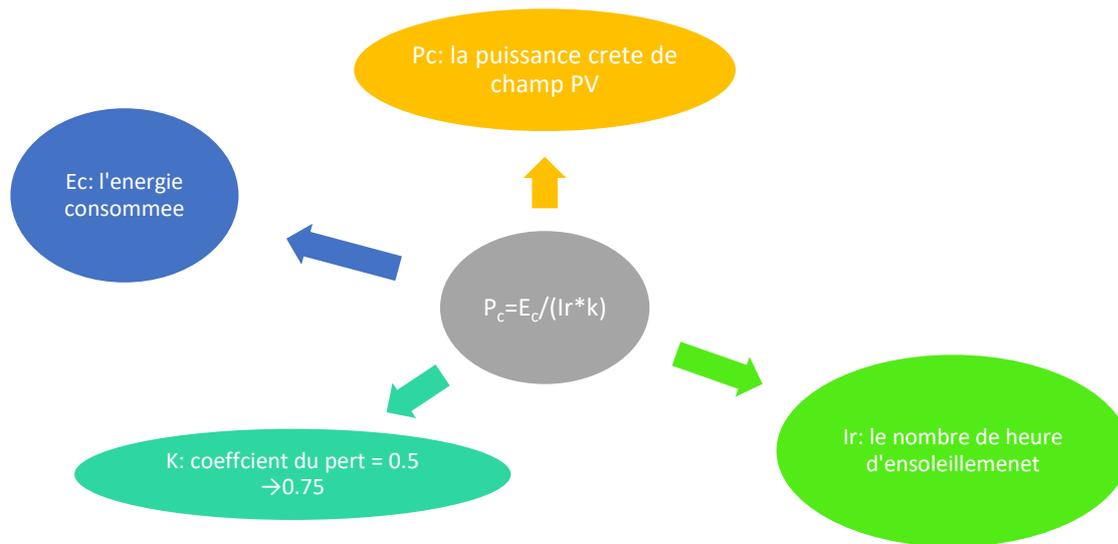
2.2.4.1 Dimensionnement d'un champ PV:

2.2.4.1.1 Guide pour le choix d'un module solaire :

Etape 01 : Calcule l'énergie consommée : E_c (Wh)

Etape 02 : Trouver la puissance crête du champ PV : P_c (W)

Etape 03 : Trouve le nombre de champ PV (modules) : N_p



$$N_p = P_c / P_{pv}$$

N_p : nombre de panneaux

P_{pv} : puissance de panneaux

2.2.4.1.2 Dimensionnement de stockage:

Si vous installez un système PV sur un site isolé, un parc de batteries solaires vous sera indispensable pour stocker l'énergie produite et la délivrer la nuit et quand l'ensoleillement ne sera pas suffisant pour alimenter vos consommateurs électriques. Une batterie solaire stocke l'énergie électrique sous forme chimique pour la restituer quand la demande électrique est supérieure (nuit, ensoleillement suffisant) à ce qui est fourni par les panneaux photovoltaïques.

Guide pour le choix d'une batterie :

Etape 01 : Choisir de la tension du fonctionnement V Système

Etape 02 : Calculer la capacité de la batterie C_B

Etape 03 : La batterie solaire idéale pour l'installation

Puissance crête d'un champ PV P_c	<500Wc	500Wc → 2KWc	>2KWc
Tension du système	12 V	24V	48V

- $C = (E_c * N) / (V_B * DOD * Be)$
- C : La capacité de la batterie [Ah]
- E_c : Energie consommé par jour [Wh]

- N : Nombre de jour d'autonomie
- V_B : Tension de la batterie [V]
- DOD : Décharge maximal admit (0.8)
- Be : Efficacité de la batterie [0.75 – 0.95]

2.2.4.2 Dimensionnement de régulateur:

Il peut avoir d'autres tache telle que la fonction de l'hacheur pour la recherche du point de puissance maximale comme il peut être intégré dans l'onduleur En général on a deux sortes de de régulateurs

- Régulateur simple pour les faibles puissances du GPV
- Régulateur onduleur compact pour les fortes puissances du GPV

2.2.4.2.1 Guide pour le choix d'un régulateur de charge :

Etape 01 : La puissance maximale du champ PV doit être inférieure à la puissance nominale du régulateur

Etape 02 : La tension à vide du champ PV doit être inférieure à la tension maximale admissible par le régulateur

Etape 03 : Le courant de sortie du champ PV ne doit (sert le courant maximal admissible par le régulateur)

Etape 04 : Le régulateur doit être compatible avec la tension du parc de batteries

Etape 05 : La tension nominale : elle peut être de 12v, 24V.....etc. en fonction de la tension du système dans lequel il sera inséré.

Etape 06 : Les types de régulateur : PWM ou MPPT

$$P_{reg}=P_c*1.25$$

P_{reg} : puissance de régulateur

$$U_{ent(reg)}=V_{oc}*N_{branch}*1.25$$

$U_{ent(reg)}$: la tension maximale admissible par regulateur

V_{oc} : tension a vide de module solaire

N_{branch} : nombre de panneaux qu'en parallèle

$$N_{branch}=I_{ent(reg)}/(I_{cc}*1.25)$$

$I_{ent(reg)}$: courant maximal admissible par regulateur

I_{cc} : courant de courte circuit max d'un panneau

⚠ Risque en cas de non-respect les étapes pour le choix d'un régulateur de charge :

Etape 01 : Coupure répétitives du régulateur (protection interne)

Le MPPT se cale sur un point de fonctionnement qui est
Différent du point de puissance maximum du champ PV

Etape 02 : Coupure répétitives du régulateur (protection interne)

Endommagement du régulateur.

Etape 03 : Coupure répétitives du régulateur (protection interne)

Le MPPT se cale sur un point de fonctionnement qui est
Différent du point de puissance maximum du champ PV

Etape 04 : Disfonctionnement de la régulation

Etape 05 : Disfonctionnement de la régulation

2.2.4.3 Dimensionnement d'onduleur:

L'onduleur est alimenté directement par la batterie débite sur des récepteurs alternatifs. Il transforme la tension continue de batteries (DC) en tension alternatif (AC)

2.2.4.3.1 Les caractéristiques principales d'un onduleur :

- 1) Puissance nominale à 20°C en VA.
- 2) Tension nominale d'entrée en Vcc
- 3) Plage de la tension d'entrée en V
- 4) Protection tension d'entrée basse en V
- 5) Puissance de démarrage admissible en %
- 6) Intensité maximale de sortie en Vca
- 7) Plage de tension de sortie
- 8) Onde de sortie
- 9) Fréquence nominale de sortie en HZ
- 10) Rendement maximale, généralement de l'ordre de 90%

2.2.4.3.2 Guide Pour Le Choix De L'onduleur :

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

Etape 01 : La tension d'entrée : C'est la même que la tension de batterie ou de régulateur (12V, 24V...DC)

Etape 02 : La tension de sortie : En ALGERIE nous utilisons du 220/230 VAC, 50HZ

Etape 03 : La puissance nominale : C'est la puissance dont les appareils qui consomment votre électricité ont besoin pour fonctionner de façon 'normale'. Pour connaître cette puissance nominale, il suffit de faire la somme des puissances des appareils électrique. il faut toujours choisir un

convertisseur dont la puissance est légèrement supérieure à celle des appareils

Etape 04 : La puissance maximale : L'onduleur est capable de fournir une grande puissance sur un court laps de temps (généralement 2ou 3fois la puissance nominale). Cette particularité est utile pour les appareils qui possèdent un moteur (réfrigérateur.....) car la consommation augmente très fortement lors du démarrage. En général si vous avez correctement dimensionné la puissance nominale, la puissance maximale est suffisante.

Etape 05 : Le rendement : Une partie de l'électricité transformée est consommée par le convertisseur courant (entre 80% et 95% de l'énergie est restituée) Il est important de contrôler ce rendement sachant qu'un bon produit se situe autour de 90%. De plus, la plupart de convertisseurs consomment de l'énergie même lorsqu'ils ne fonctionnent pas. Heureusement certaine équipe d'un système de marche/arrêt qui permet de grandes économies dans les petites installations PV

Etape 06 : La forme du signal : La sinusoïde (l'onde) produite par le convertisseur peut avoir plusieurs formes (de la plus couteuse à la moins chère : pur sinus, pseudo sinus ou carré). Certains appareils supportent très bien les ondes carrées, mais d'autre non. En revanche, n'importe qu'appareil peut fonctionner avec une onde pur sinus.

2.2.5 Dimensionnement de système qui nous faisait notre étude :

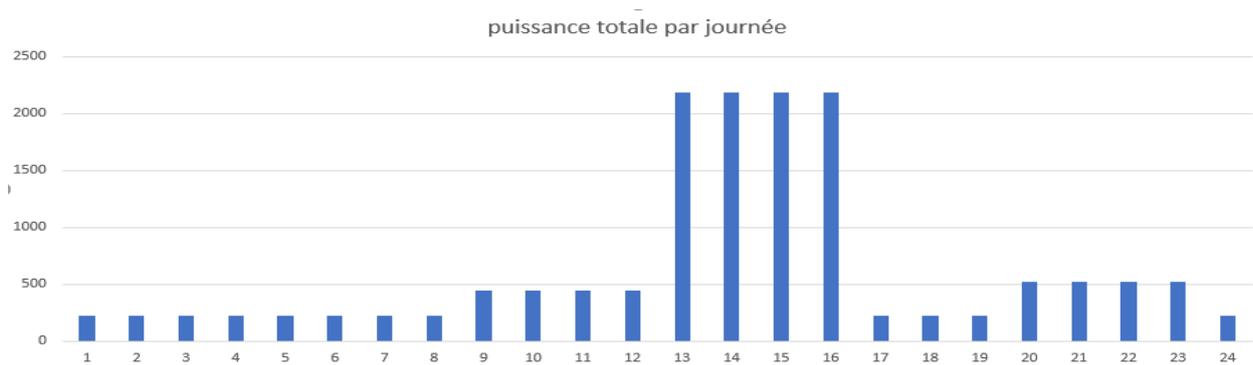
Le système auquel nous avons appliqué notre étude consiste :

- 4 lampes de puissance 75watt/1lamp fonctionne pendent 4 heures par jour
- Un climatiseur condor 18 btu de puissance 1750 watt fonctionne pendent 4 heures par jour et
- 2 micro-ordinateurs de puissance chaqu'un de 110 watts fonctionne pendent 24 heures
- 2 micro-ordinateurs de puissance chaqu'un de 110 watts fonction pendent 7 heurs

2.2.5.1 Calcule de besoin d'energie:

Les appareilles	N :	(h) Temps	La puissance (w)	La puissance total (w)	L'énergie consommée (wh)
Lampe	4	4	75	300	1200
Climatiseur	1	4	1750	1750	7000
Ordinateur	2	24	110	220	5280
Ordinateur	2	7	110	220	1540
				2490	15020

Tableau 2.01 : besoin d'energie dans un jour de notre systeme

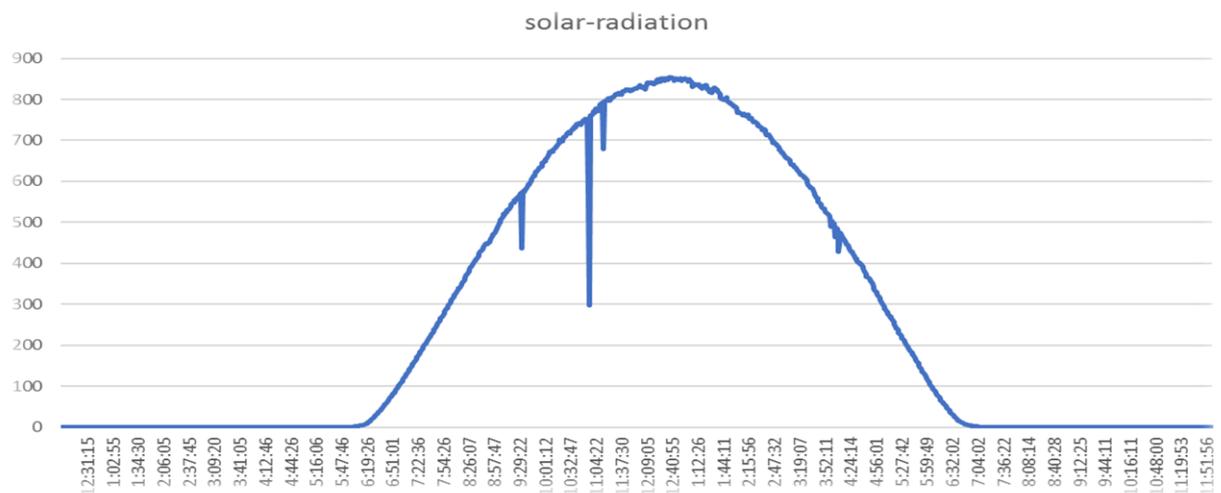


Courbe 2.01 : Diagramme représentant la distribution temporelle de la puissance consommée en une journée

2.2.5.2 Les données climatiques:

Le jour 6 septembre 2020 :

La courbe suivante montre que la journée était ensoleillée et qu'il n'y a pas de nuages



Courbe 2.02 : courbe de radiation dans le jour 6 septembre 2020

2.2.5.3 Dimensionnement du champ PV:

$$P_c = E_c / (I_r * k)$$

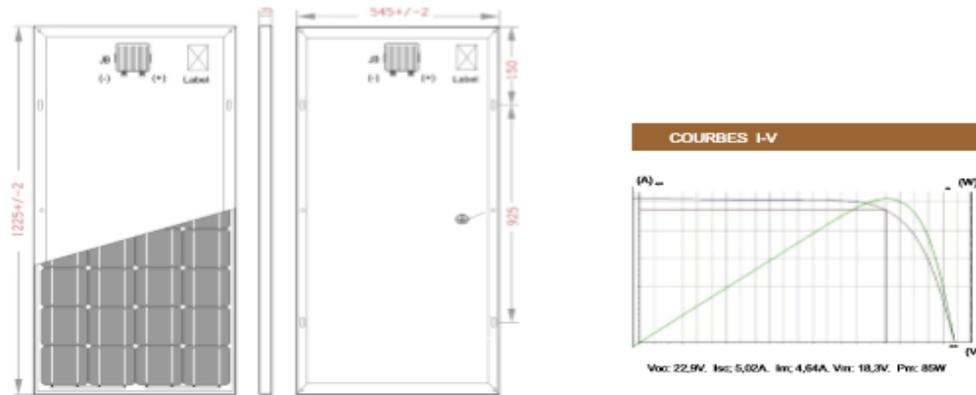
$$E_c = 15020 \text{ wh}$$

$$I_r = 8 \text{ heures}$$

$$K = 0.65$$

$$P_c = 15020 / (8 * 0.65) = 2888.46 \text{ w}_c$$

Les caractéristiques des modules utilisés :



Caractéristiques électriques dans les conditions de test standard (STC)
1000W/m² ; 25°C ; AM 1,5

PARAMÈTRES ELECTRIQUE		ALPV85-125M-36
TYPE		
Puissance nominale (sous conditions STC)		85W
Tension de circuit ouvert	(Voc/V)	21,83
Tension nominale	(Vmp/V)	17,27
Courant de court circuit	(Isc/A)	5,33
Courant nominal	(Imp/A)	4,93
Coefficient de température	Isc	+0,069%/C°
Coefficient de température	Voc	-0,39%/C°
Coefficient de température	Pmp	-0,46%/C°

Figure 2.01 : Les caractéristiques des modules utilisés

Pour calculer le nombre des panneaux complète :

$$N_p = P_c / P_{pv}$$

$$P_c = 2888.46 \text{ W}_c$$

$$P_{pv} = 85W$$

$$N_p = 2888.46 / 85 = 33.98 \approx 34 \text{ panneaux}$$

Détermination la tension du système :

P _c	<500W _c	500W _c →2KW _c	>2KW _c
Tension du système	12 V	24V	48V

$$P_c = 2.8kW_c \rightarrow V_{sys} = 48V$$

Tension nominale du panneau est égale 17V

Donc il faut se connecter 4 panneaux en série dans chaque chaîne

Pour déterminer le nombre des chaînes :

$$N_{\text{Parallèle}} = N_p / N_s$$

$N_{\text{Parallèle}}=34/4=8.5$ (il faut ajouter des panneaux pour compléter la chaîne manquante)

$0.5*4=2$ (c'est le nombre de panneau que nous avons ajoutés pour compléter la chaîne 9)

Alors on obtient :

$N_p=36$ panneaux

$N_s=4$ panneaux

$N_{\text{Parallèle}}=9$ chaînes

2.2.5.4 Dimensionnement du stockage:

Les caractéristiques de batterie :

Tension nominale [V]	12
Capacité nominale (10HR) [Ah]	100
Résistance interne [mΩ]	≈4.0
Capacité nominale [Ah] 10 heures (6.5A)	100
Capacité nominale [Ah] 20 heures (3.25A)	103
Capacité nominale [Ah] 120 heures (0.53A)	108.3
Capacité nominale [Ah] 240 heures (0.27A)	109.5
Fonctionnement par température [40°C]	103%
Fonctionnement par température [25°C]	100%
Fonctionnement par température [0°C]	86%
Weight±3% [Kg]	Approx 30.0
Dimension (L*W*H) [mm]	331*173*224
Garantie	1 An

On calcule la capacité totale des batteries :

$$C=(E_c*N)/(V_{\text{sys}}*DOD*Be)$$

$$E_c=15020 \text{ W}_c$$

$$N=2jr$$

$$V_{\text{sys}}=48\text{V}$$

$$DOD=0.6$$

$$Be=1$$

$$C= (15020*3)/ (48*0.6*1) =1043.05 \text{ Ah}$$

$$N_b=C/C_b$$

$$C_b=100\text{Ah}$$

$$N_b=11043.05/100=10.43\approx 11$$

$$N_b=11$$

Le nombre des batteries en série :

$$N_{bs} = V_{sys} / V_b$$

$$N_{bs} = 48 / 12 = 4 \quad \text{4 batteries en série}$$

Le nombre de chaîne des batteries :

$$N_{ch} = N_b / N_{bs} = 11 / 4 = 2.75 \approx 3 \quad \text{3 chaînes chaque chaîne contient 4 batteries}$$

Donc 12 batteries sont dans 3 chaînes de chaque chaîne 4 batteries

2.3 Conclusion:

L'installation photovoltaïque exige une méthode de calcul et de dimensionnement de haute précision. L'installation sous dimensionnée reste une installation qui manque de fiabilité, tandis qu'une installation surdimensionnée va nous conduire à un coût plus élevé. D'une façon générale, la maîtrise du dimensionnement global est basée sur les différentes caractéristiques techniques des sous-systèmes constituant l'installation photovoltaïque (le générateur PV, les batteries, régulateurs et convertisseurs,) d'un côté, et les méthodes de dimensionnement utiles.

Chapitre 03

3 Chapitre : 03 / Cycle de charge des batteries

3.1 Introduction:

Le système photovoltaïque autonome doit avoir un bon système de stockage pour fonctionner la nuit et fonctionner par temps nuageux.

Le stockage solaire est le point le plus important du système, son incapacité à couvrir nos besoins en électricité rend le système vide de sens. Les batteries ont un cycle de charge et de décharge si elles sont défectueuses, ce qui crée de nombreux problèmes dans le système.

3.2 Description de système appliqué:

Le system étudié est représenté par le schéma suivant :

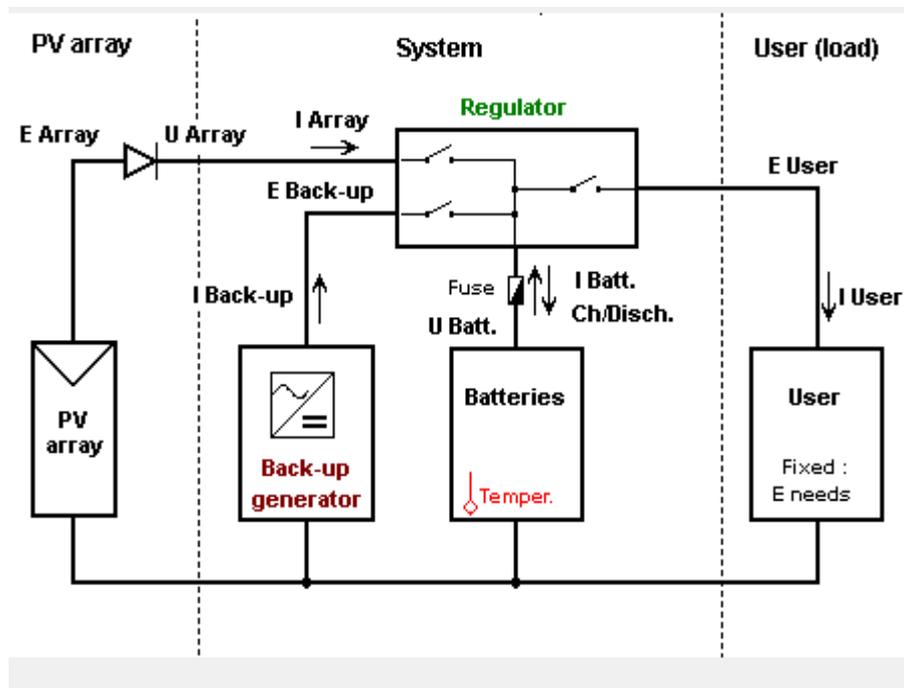


Figure 3.01 : schéma de fonctionnement de système PV autonome

- 36 panneaux solaires de puissance 85 watts liée en 9 chaines de chaque chaine 4 panneaux en série
- 12 batteries solaire de 12 v 100Ah liee dans 3 chaines de chaque chaine consiste 4 batteries
- Un régulateur Morningstar de 60-45A/48V son commande PWM
- Un onduleur XANTEX SW3048E de puissance 3kw et de tension 48 volt
- 4 lampes de puissance 75 watts de chaqu'une
- 4 micro ordinateur de 110 watts de chaque un
- Un climatiseur de 1.75Kw

3.3 Le cycle de charge des batteries :

3.3.1 Définition de cycle de charge :

Un cycle de charge est le processus de charger et décharger intégralement un accumulateur électrique. Le terme est employé notamment pour désigner la durée de vie prévue d'une batterie, car le nombre de cycles affecte davantage sa durée de vie que le seul passage du temps. On appelle « décharge profonde » la décharge totale d'une batterie.

3.3.2 La profondeur de décharge:

La profondeur de décharge (DOD), exprimé en %, est le rapport entre la capacité déjà déchargée et la capacité nominale de l'accumulateur. C'est à dire l'énergie consommée dans la batterie. ... Exemple : Une batterie qui a une profondeur de décharge de 60% (DOD 0.6) a un état de charge de 40% (SOC 0.4).

3.3.3 La caractéristique de charge de batterie plomb-acide 100Ah :

Nous utilisons tous le système pour charge les batteries et suivi les changements via le programme MSview :



Figure 3.02 : Régulateur Morningstar (tristar TS60)



Figure 3.03 : Le banc des batteries utilisé

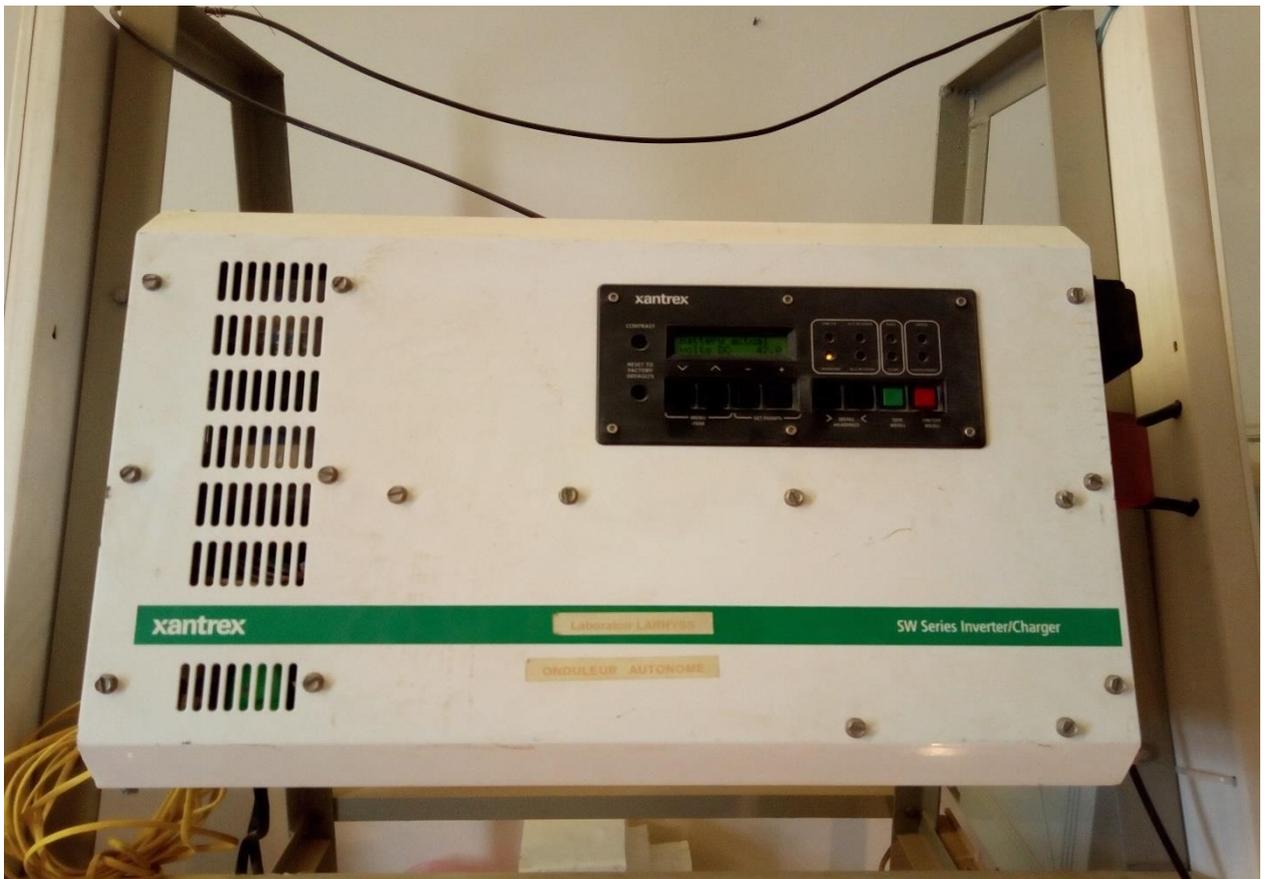


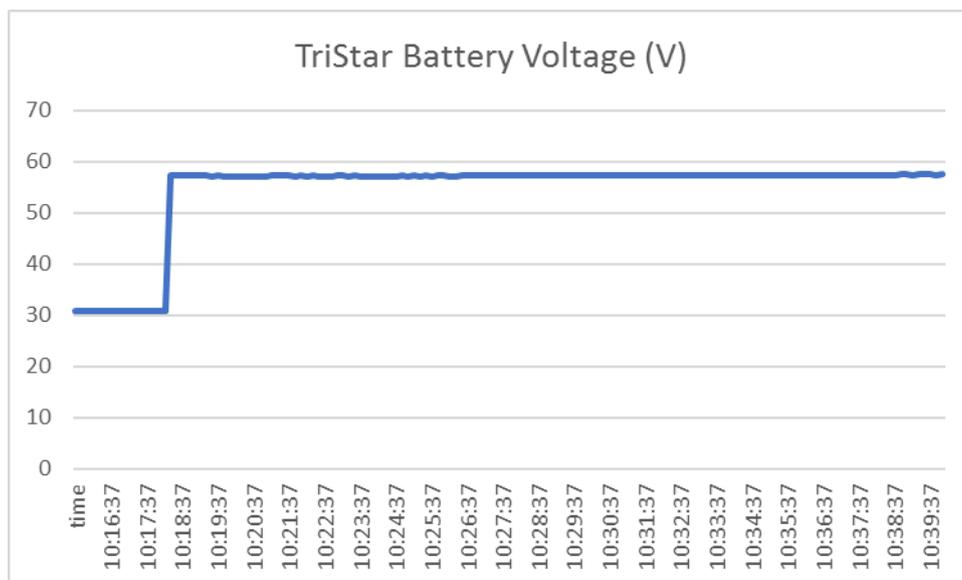
Figure 3.04 : L'onduleur xantrex SW3048E



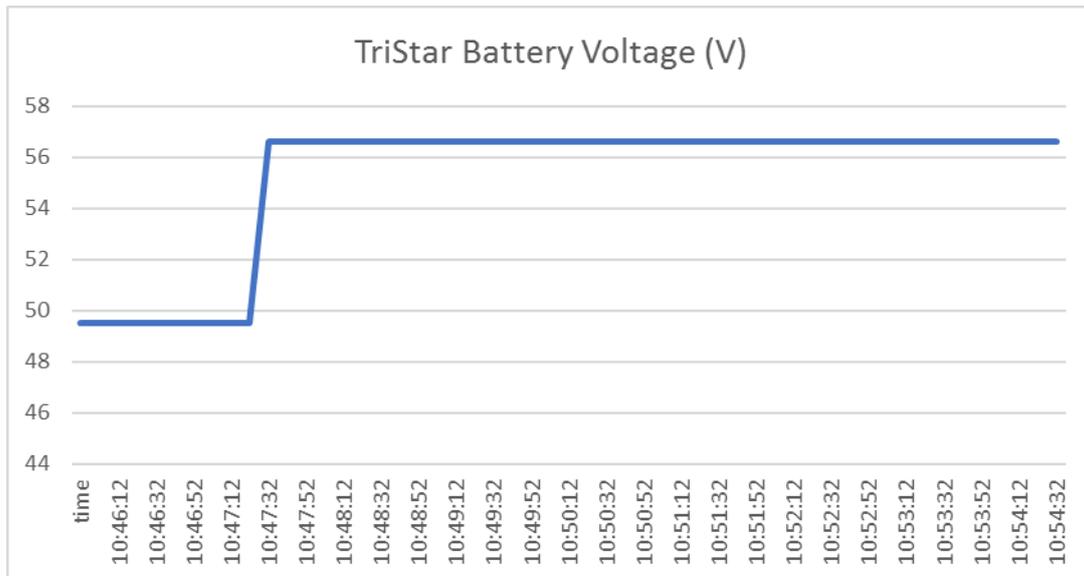
Figure 3.05 : Le Logiciel MSview

Comparaison des courbes obtenues :

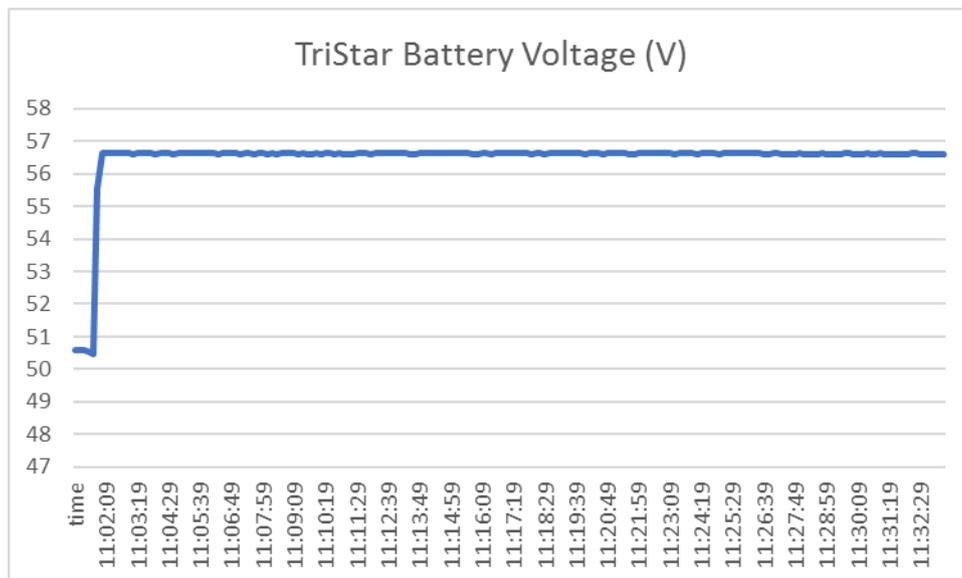
Courbes de tension des batteries :



Courbe 3.01 : 1^{er} essai Courbes de tension des 4 batteries



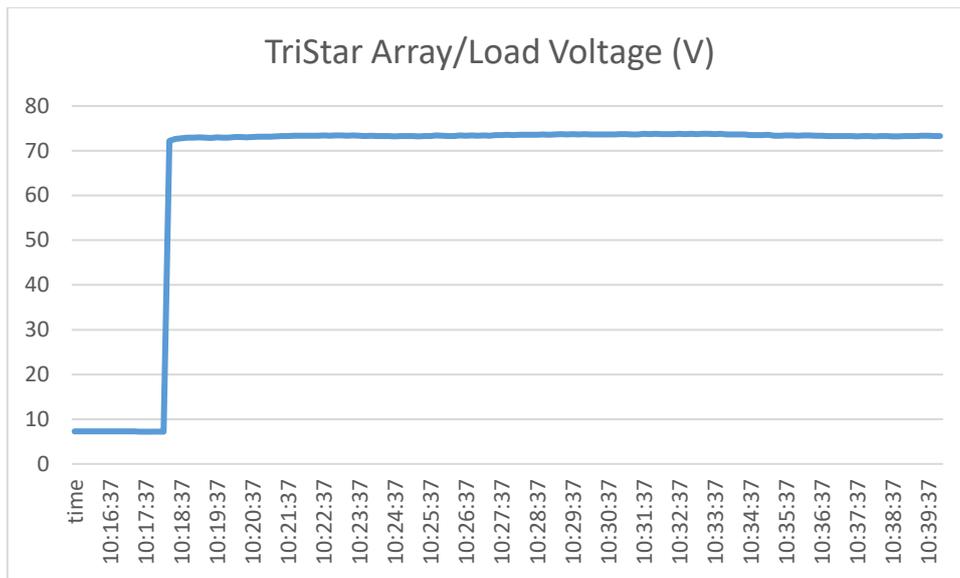
Courbe 3.02 :2eme essai Courbe de tension de 8 batteries



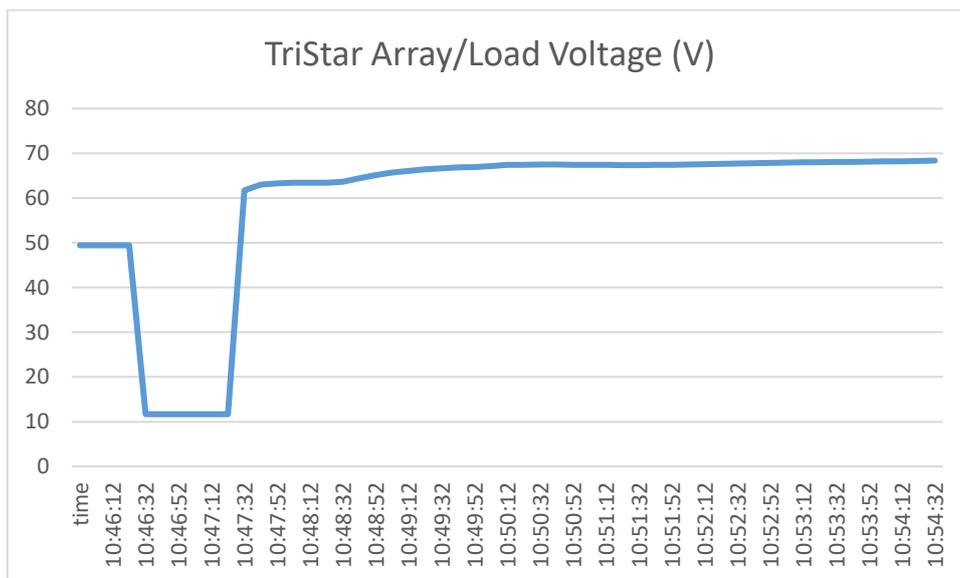
Courbe 3.03 :3eme essai Courbes de tension de 12 batteries

Les trois courbes précédentes représentent la variation de tension des batteries en fonction de temps. On voit que les trois courbes de tension (4 batteries, 8 batteries, 12 batteries) augmentent rapidement dans un moment puis se sont stabilisées à la valeur 57V. Et c'est après avoir allumé le régulateur et l'avoir connecté aux panneaux photovoltaïques. Nous concluons que les batteries sont presque complètement chargées (phase d'entretien).

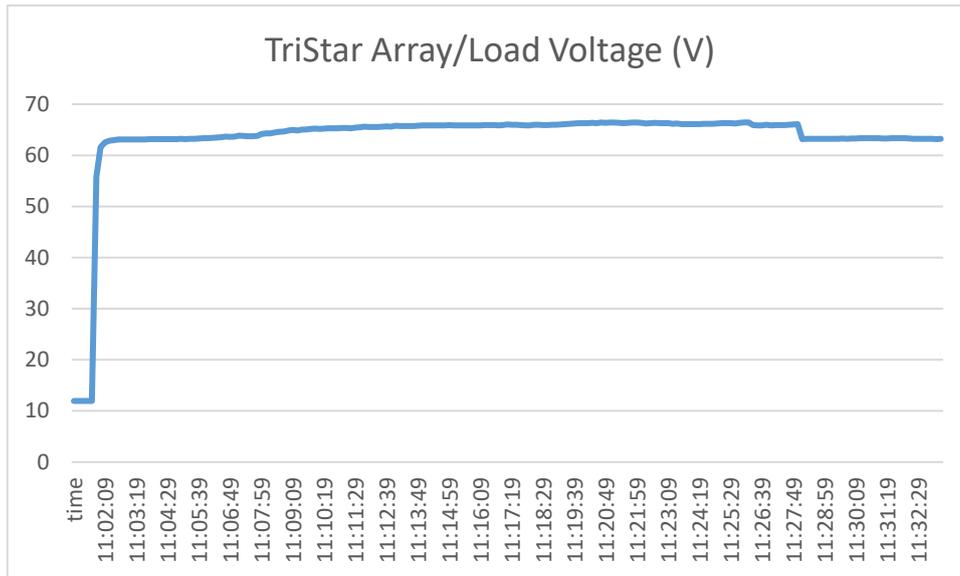
Courbes de tension de champ PV :



Courbe 3.04 : 1^{er} essai Courbes de tension de champ PV



Courbe 3.05 : 2eme Courbes de tension champ PV

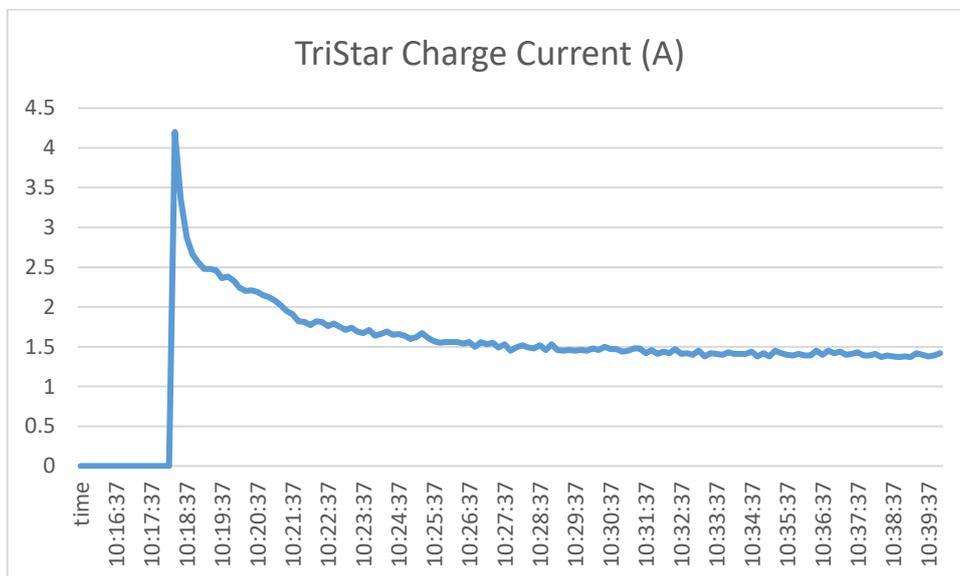


Courbe 3.06 :3eme essai courbes de tension de champ PV

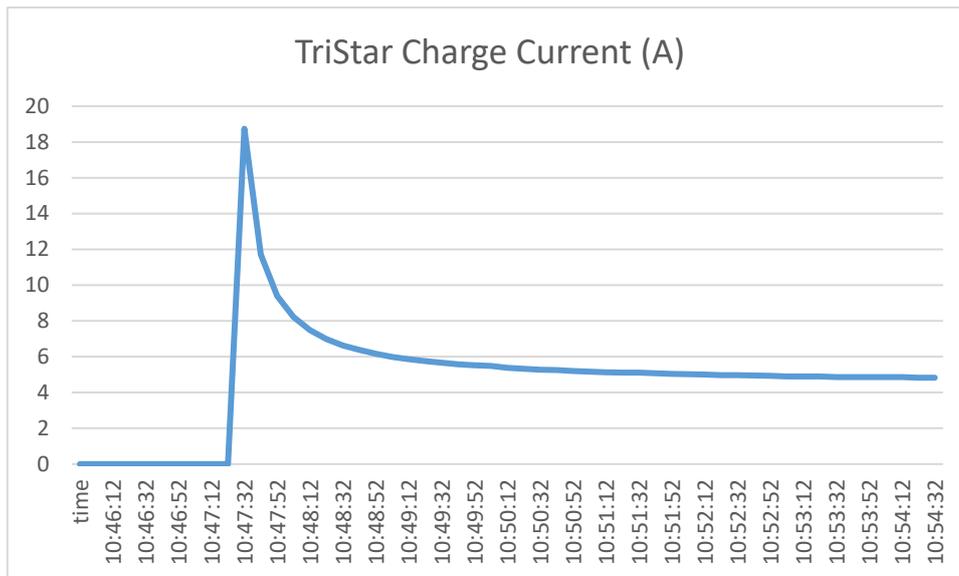
Les trois courbes représentent la tension de champ PV appliqué sur les batteries. On voit que les courbes augmentent rapidement dans un moment puis stabilise dans la valeur 68V.

Cette valeur est la valeur applique sur 4 batteries en série pour charger. (8 batteries c'est 2 chaine chaque contient 4 batteries etc. ...)

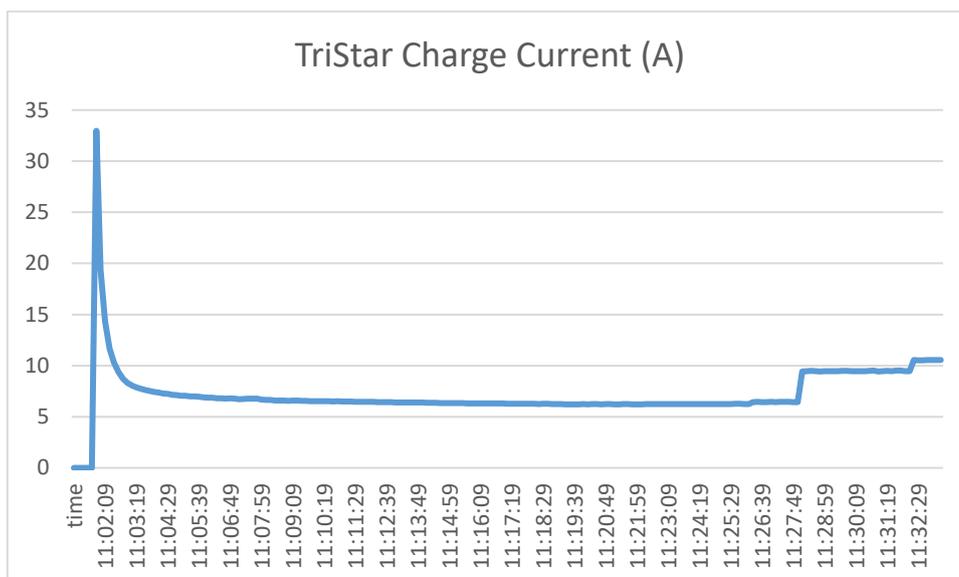
Courbes de courants de charge :



Courbe 3.07 :1er essai Courbes de Courant de charge de 4 batteries (1 chaine)



Courbe 3.08 :2eme essai Courbes de Courant de charge de 8 batteries (2 chaines)

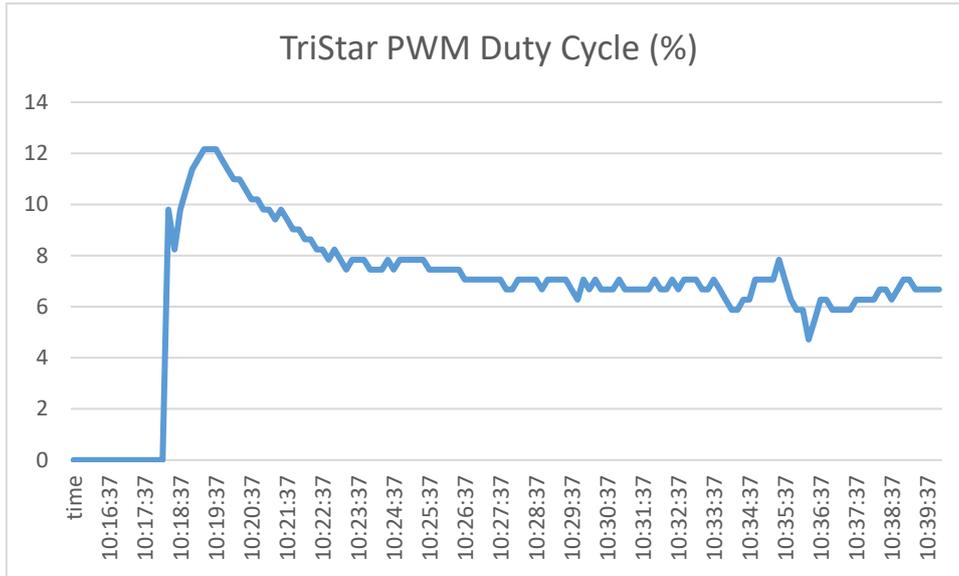


Courbe 3.09 :3eme essai Courbes de Courant de charge de 8 batteries (2 chaines)

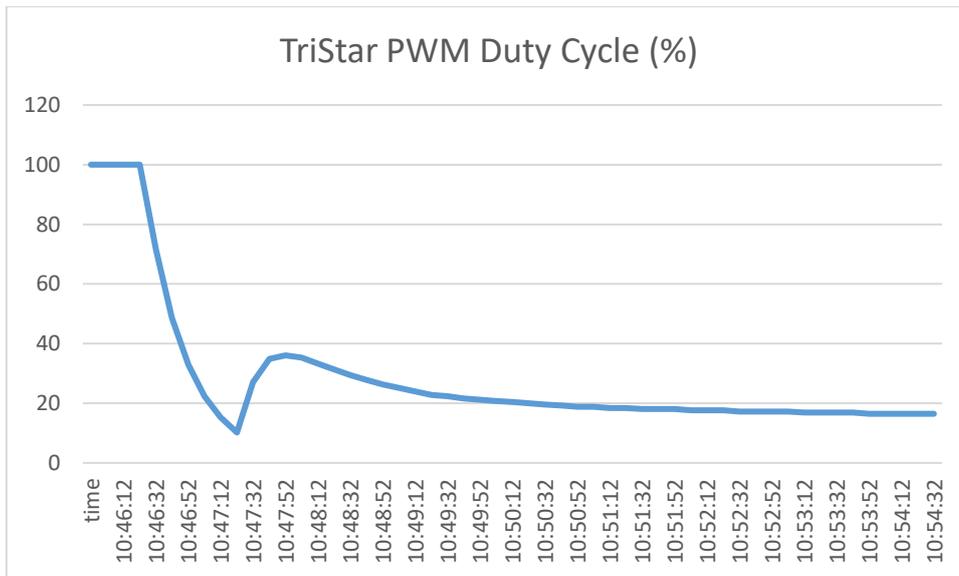
Les courbes précédentes représentent les courants de charge de batteries. L'augmentation première c'est le courant de démarrage du système puis on voit que les courants diminuent aux valeurs et se stabilisent, cette valeur est différente d'une courbe à l'autre, parce que le nombre de chaînes augmente à chaque fois :

- $I_{ch4b}=1.5$ A (c'est le courant d'entretien de 4 batteries)
- $I_{ch8b}=5$ A (c'est le courant d'entretien de 8 batteries)
- $I_{ch12b}=10$ A (c'est le courant d'entretien de 12 batteries)

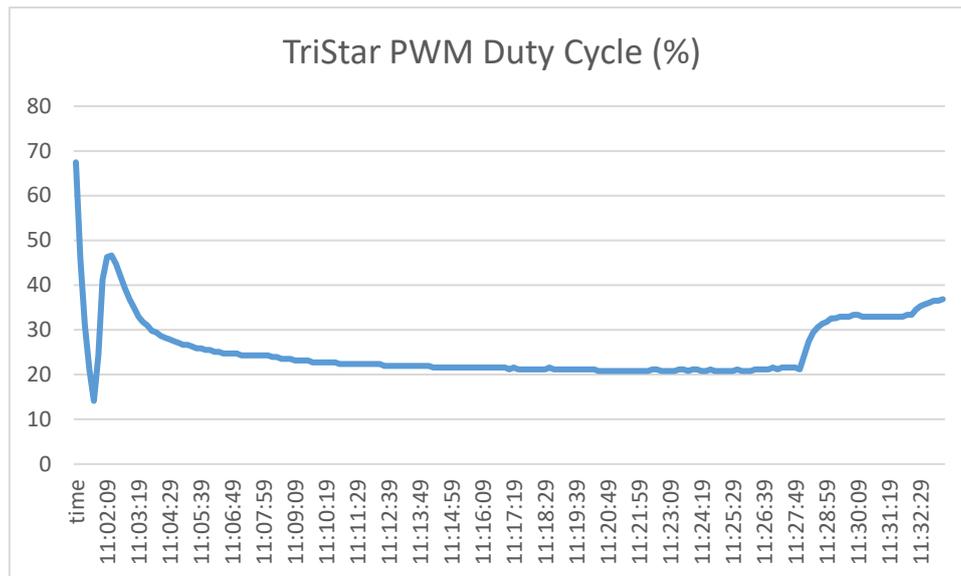
Courbes de PWM cycle duty :



Courbe 3.10 :1^{er} essai Courbe de cycle de service PWM



Courbe 3.11 :2^{eme} essai Courbe de cycle de service de PWM



Courbe 3.12 :3eme essai Courbe de cycle de service de PWM

Les trois courbes représentent le rapport pourcentages de service de PWM pendant le temps,

Après le pique de démarrage, on voit que les trois courbes ont diminué jusqu'à une valeur différent de chaque courbe :

6% pour l'essai de charge 4 batteries indique qu'il fonctionne dans étape d'entretien et le courant dans la courbe précédente le confirme (voir le courbe 1^{er} essai de courant de charge).

20% pour l'essai de charge 8 batteries indiquent que le courant de maintien augmente pour entretien les batteries (voir le courbe 2eme essai de courant de charge).

30% pour l'essai de charge 12 batteries indiquent que le courant de maintien augmente plus que le 2eme essai pour entretien les 12 batteries

3.3.4 L'importance de dimensionnement:

Pour voir l'importance de dimensionnement exact, nous avons faire une expérience :

Nous avons défini une charge utile composée de 4 lampes et onduleur, nous avons alimenté l'onduleur par les 12 batteries et tous les 9 chaines des champs PV, et chaque fois que nous faisons éliminer 2 chaines de champs PV :

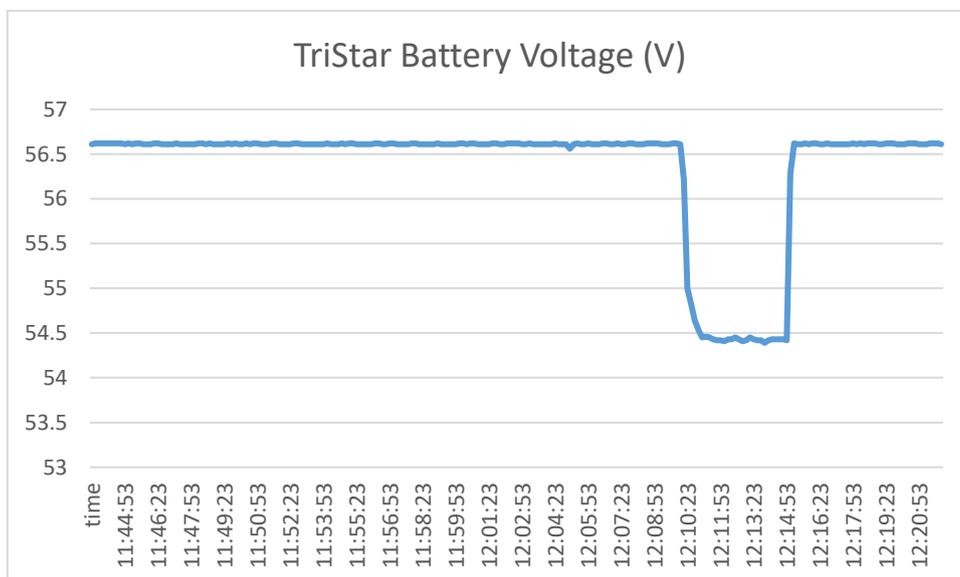
- 1) De début d'expérience jusqu'à 12:00 tous les chaines sont liées (9 chaines)
- 2) De 12:00 à 12:05 nous avons éliminé 2 chaines (7 chaines liées)
- 3) De 12:05 à 12:10 nous avons éliminé 2 autres chaines (5 chaines liées)

- 4) De 12:10 à 12:15 nous avons éliminé 2 autres chaines (3 chaines liées)
- 5) De 12:15 à 12:21 nous avons ramené une chaine (4 chaines liées)
- 6) 12:21 coupure totale de système



Figure 3.06 : La liste des chaines (9 chaines fonction et 1 non fonction pas)

Courbe de tension des batteries :

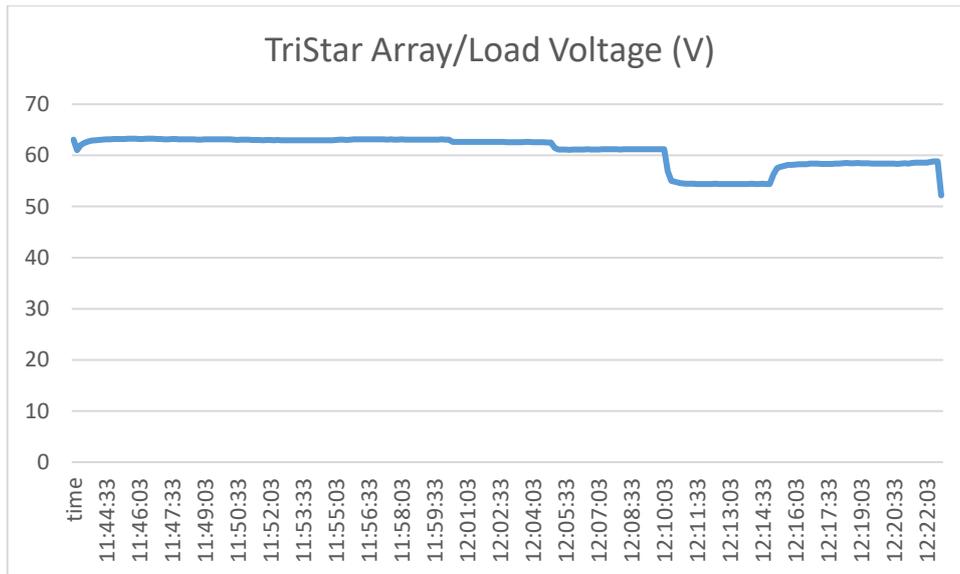


Courbe 3.13 : La tension des batteries

- 1) L'état des batteries est charge parce que le courant génère par le champ PV est suffisant pour charger les batteries et alimenté la charge
- 2) L'état des batteries est charge parce que le courant génère par le champ PV est suffisant pour charger les batteries et alimenté la charge, bien que nous ayons éliminé 2 chaines

- 3) L'état des batteries est charge parce que le courant génère par le champ PV est suffisant pour charger les batteries et alimenté la charge, bien que nous ayons éliminé 2 autres chaînes
- 4) L'état des batteries est déchargé parce que le courant génère par le champ PV (3 chaînes) est insuffisant pour alimenter la charge
- 5) L'état des batteries est charge parce que quand on retourne la chaîne le courant génère par le champ est suffisant pour alimenter la charge et chargé les batteries.

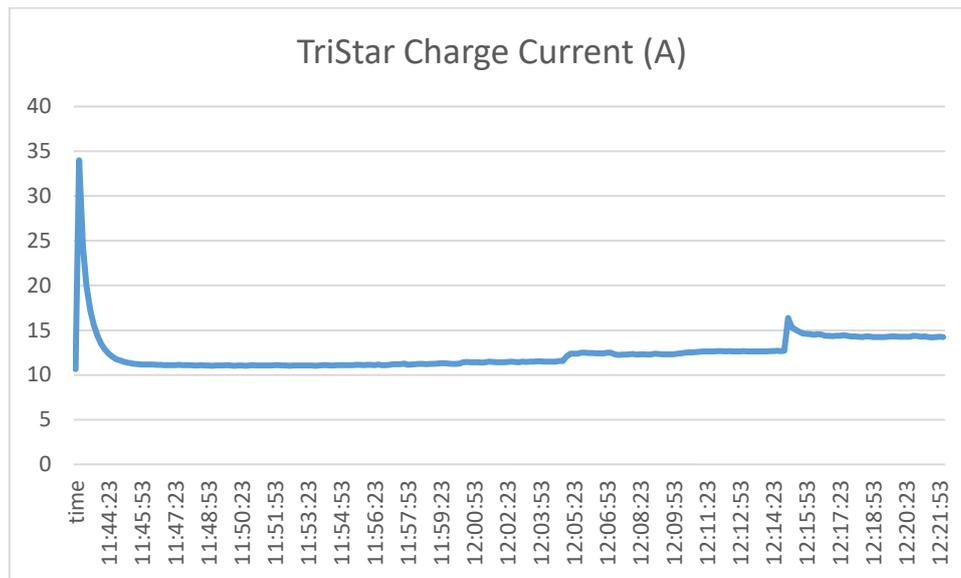
Courbe de tension de champ PV :



Courbe 3.14 : la tension générée par le champ PV

Cette courbe représenté la tension générée par le champ PV on voit que la tension est diminuée chaque fois nous éliminé 2 chaînes jusqu'à ce que trois chaînes restent, la descend est devenue apparente grand parce que le système n'est pas optimisé dans cet instant. Après avoir ramené une chaîne la tension augmente.

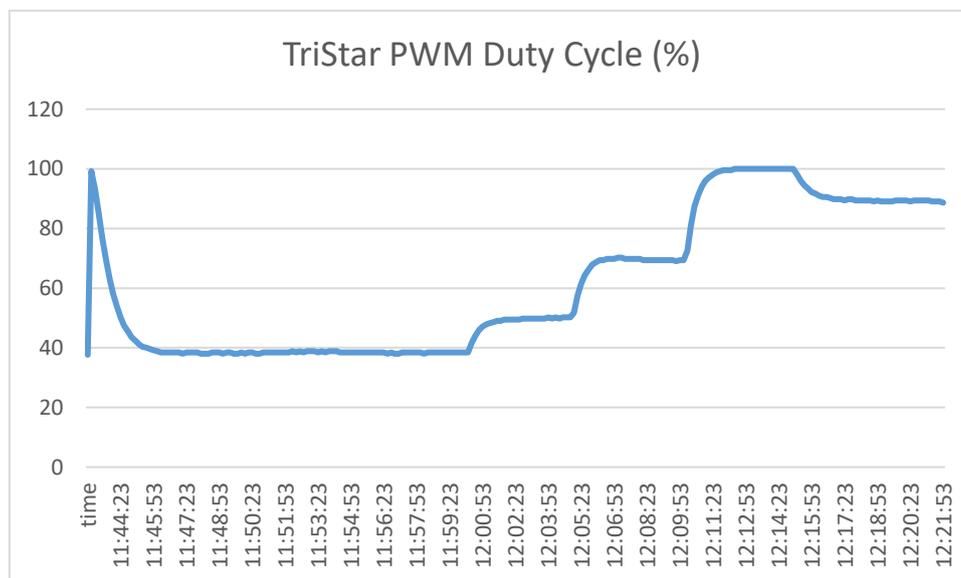
Courbe de courants de charge :



Courbe 3.15 : le courant de charge

Cette courbe représenté le courant de charge on voit qu'après le pique de démarrage le courant diminue jusqu'à la valeur 11 A et stabilise dans cette valeur et quand nous éliminé les chaines le courant augment un peut parce que les batteries est délivré le courant pour alimente la charge parce que le système n'est pas optimisé.

Courbe de PWM cycle duty :



Courbe 3.16 : le cycle de service de PWM pendant l'expérience

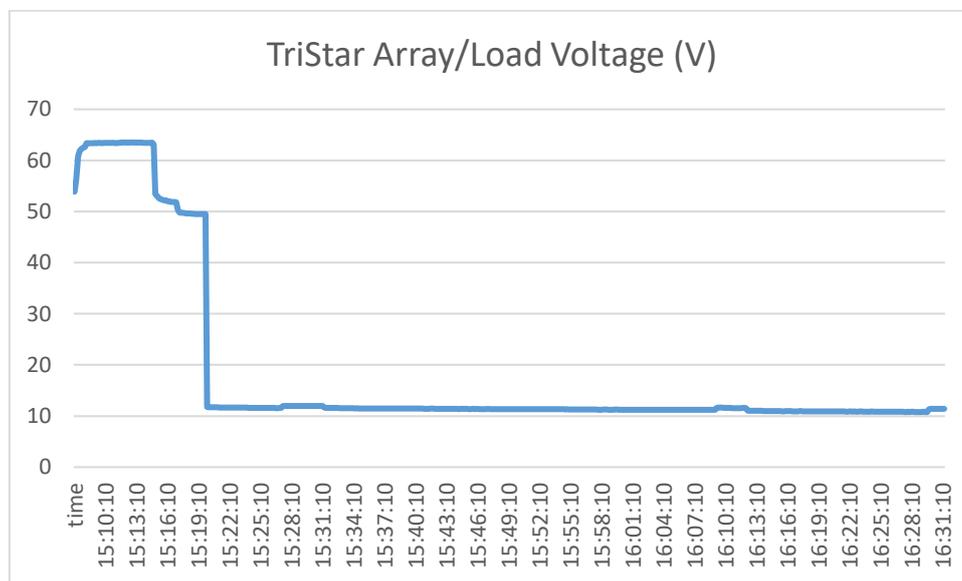
Cette courbe représente le cycle de service de PWM pendant l'expérience, on voit après le démarrage de système la valeur de rapport est diminué puis stabilisé dans 40%. Lorsque nous avons retiré deux chaînes, la valeur de service a augmenté, ce qui indique que la valeur précédente est devenue

insuffisante pour charger les batteries et alimenter la charge. Et lorsque nous avons éliminé deux autres chaînes, la valeur a encore augmenté. Lorsque nous n'avons atteint que 3 chaînes connectées, elles ont atteint leur valeur maximale, ce qui prouve que le courant a été produit à du champ PV, il est devenu insuffisant totalement pour la charge des batteries et alimenter la charge (système non optimiser). Lorsque nous retournons une chaine, la valeur est réduite, et c'est presque suffisant pour le processus .

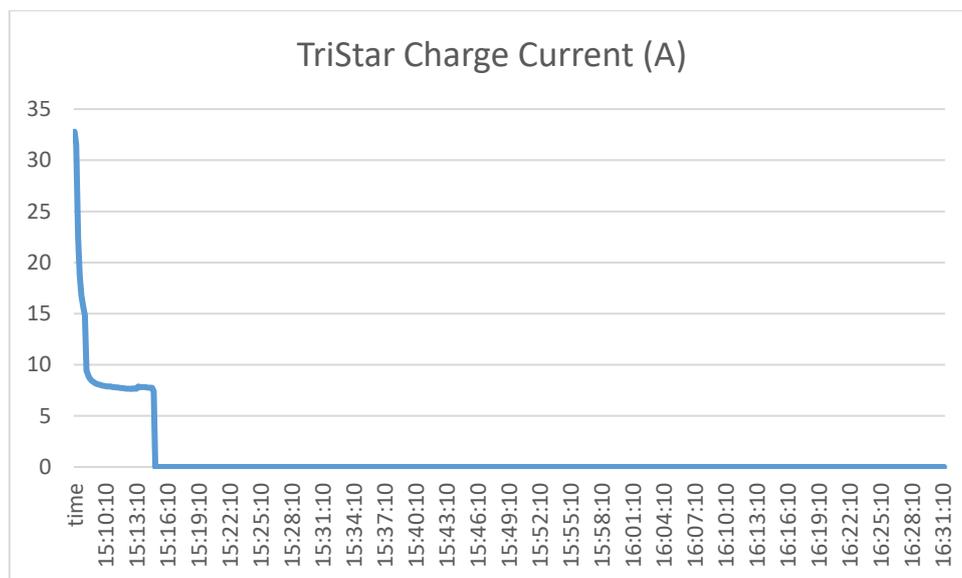
3.3.5 La décharge des batteries :

Dans cette expérience nous avons utilisé seulement les 12 batteries pour l'alimentation d'onduleur (champ PV déconnecté) pour vue le cycle de décharge. Nous avons estimé la charge avec un climatiseur et 4 lampes.

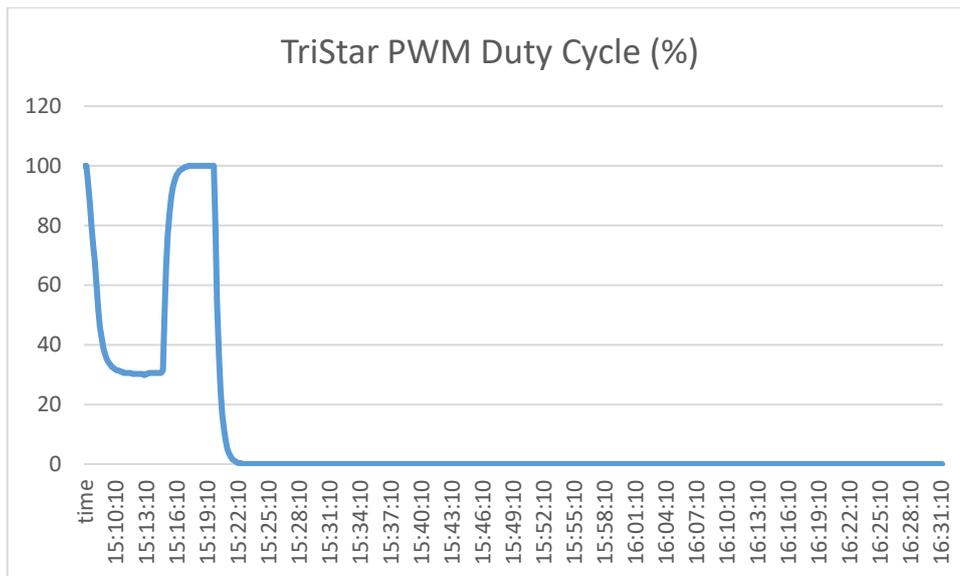
Courbe de tension de champ PV et de courant de charge et de duty PWM :



Courbe 3.17 : Courbe de tension de champ PV



Courbe 3.18 : Courbe de courant de charge

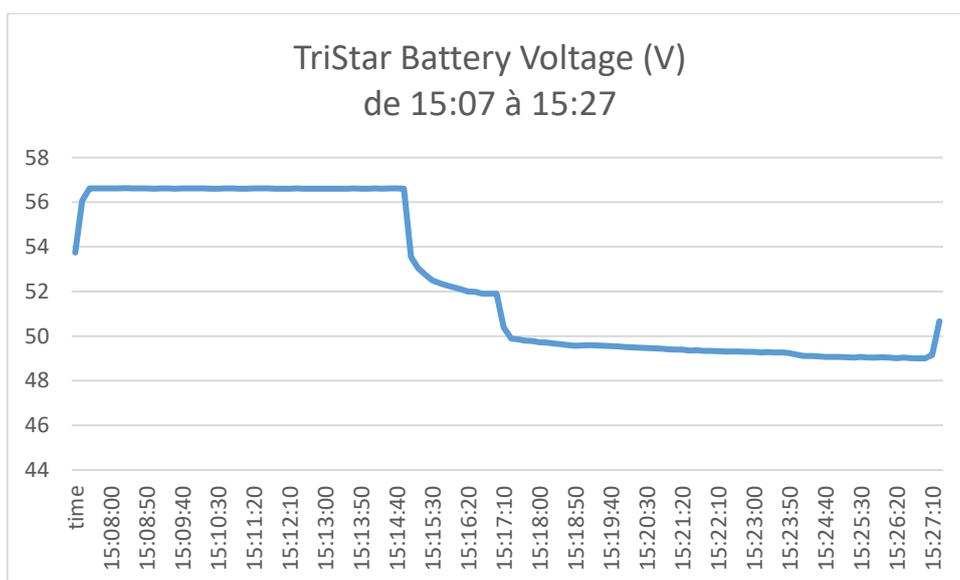


Courbe 3.19 : Courbe de PWM duty

On voit que les trois courbes diminuent à zéro après avoir isolé le champ PV. Parce que dans trois, ils ont une relation directe avec la tension du champ PV

Courbe de tension des batteries :

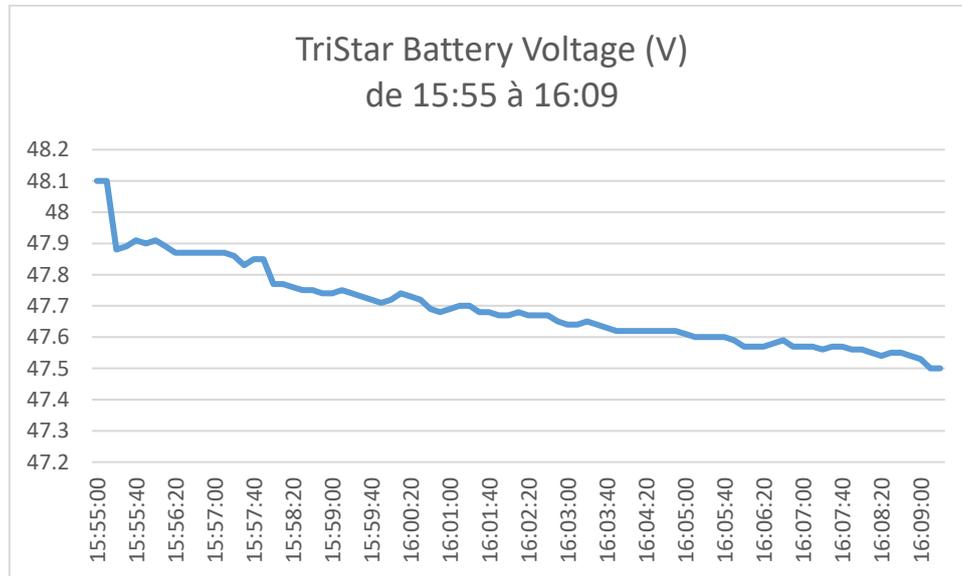
- 1/ de 15:07 à 15:15 aucun charge connectée
- 2/ de 15:15 à 15:17 branchement de climatiseur (seulement le ventilateur)
- 3/ de 15:17 à 15:27 démarrage de compresseur de climatiseur



Courbe 3.20 : la variation de tension des batteries de 15:07à 15:27

Cette courbe représente la variation de tension des batteries de 15:07 à 15:27, on voit que la tension était constante avant de brancher le climatiseur, et quand nous l'avons connecté cela a fonctionné en premier le ventilateur, et quand le compresseur de climatiseur il a recommencé a diminué. Parce que le compresseur nécessite plus de courant.

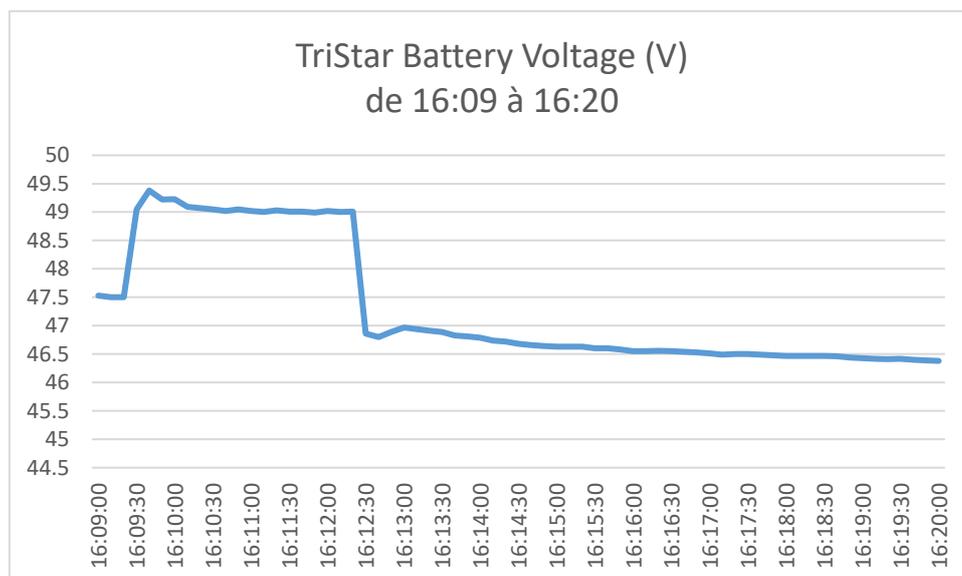
4/ de 15 :55 à 16 :09 nous avons ajouté a4 lampes à la charge



Courbe 3.21 : la tension des batteries entre 15h55 et 16h09

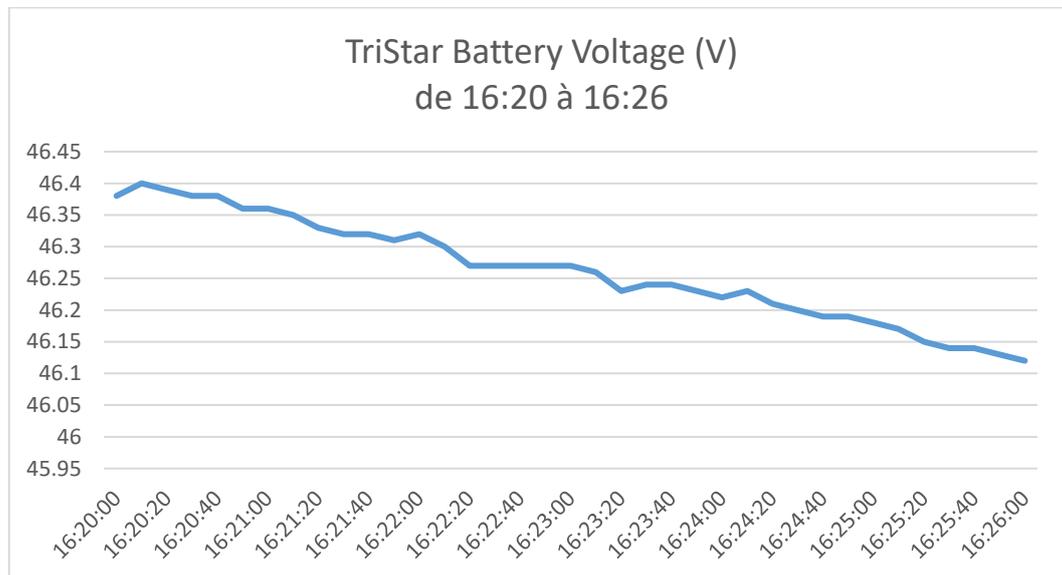
Dans cette courbe, qui représente la tension des batteries entre 15h30 et 15h55, on voit que la tension est toujours en baisse et le paramètre de direction de la courbe a changé. Parce que ça descend vite.

5/ de 16:09 à 16:20 nous avons laissé la même charge et nous avons supprimé 4 batteries (reste 8 batteries) :



Courbe 3.22 : courbe de tension du batteries de 16:09 à 16:20

Dans la courbe on voit qu'après avoir retiré 4 batteries, il y a eu une chute de tension, cela est dû à des batteries défectueuses 6/de 16:20 à 16:26 nous avons supprimé autres 4 batteries (reste 4)



Courbe 3.23 : courbe de tension du batteries 16:20 à 16:26

On voit sur cette courbe de tension de la batterie que la vitesse de décharge augmentait à mesure que l'on diminuait les batteries, et cela est dû au manque de générateurs (12 batteries auparavant et maintenant 4), et si seulement quatre batteries restent connectées, le système va bientôt s'éteindre car l'onduleur a un point de rupture à une certaine tension de 11 Volts par batterie.

3.4 Conclusion:

Les batteries ont des propriétés qui, si elles ne sont pas respectées, commenceront à s'effondrer une par une. Le dimensionnement joue un grand rôle dans la préservation du stockage. L'ensemble du système doit être soigneusement calculé pour éviter d'endommager certains éléments. Le premier affecté par les erreurs de dimensionnement est la batterie.

Si le dimensionnement est erroné et qu'il n'y a pas d'éléments pour protéger les batteries (onduleur, régulateur ...) le système s'arrête lorsque le niveau de décharge minimum est atteint, après un petit nombre de cycles de charge vous le trouverez affaibli. Par conséquent, pour augmenter la durée de vie et la protection de la batterie, vous devez lire ses caractéristiques et comprendre son comportement.

Conclusion générale :

Le travail présenté dans la thèse est basé sur l'étude du stockage dans un système photovoltaïque autonome fonctionnant hors réseau.

L'étude a porté sur :

- Tout d'abord, pour étudier le système photoélectrique et ses composants et caractéristiques, où il a identifié les types de batteries K-111 utilisées dans les expériences.
- Puis il a étudié les propriétés du convertisseur dc / dc qui à son tour forme des contrôleurs de charge avec commande pwm et a étudié son mode de fonctionnement et ses étapes de charge pour les batteries.
- Ensuite, il a étudié les composants du convertisseur et sa rentabilité.
- Deuxièmement, à la définition du dimensionnement photoélectrique et des méthodes de calcul qui rendent le système équilibré et adéquat sans les problèmes de coupure de courant la nuit, et au dimensionnement du système utilisé en laboratoire.
- Troisièmement, en s'appuyant sur le régulateur de charge Morningstar TS-M, avec l'aide du logiciel MS VIEW, il peut extraire les courbes de tension de la batterie, de tension du champ photoélectrique, de cycle PWM et de courant de charge. En étudiant les courbes obtenues précédemment, nous avons pu voir l'effet de la mise à l'échelle sur la vitesse de décharge de la batterie et son effet sur le système :

Si la capacité produite par les panneaux n'est pas suffisante pour charger les batteries, ces batteries commenceront à perdre certaines caractéristiques.

Si le stockage n'est pas suffisant pour faire fonctionner notre système la nuit et les jours nuageux, les batteries tomberont en dessous du taux de décharge idéal et s'effondreront donc.

Tout doit être calculé avec précision afin de ne pas être une grosse perte d'argent que nous voulions économiser de ce système.

Références

- [1] TRISTAR Régulateur de système solaire Manuel d'installation et d'utilisation
1098 Washington Crossing Road Washington Crossing, PA 18977 USA
- [2] Patrice Simon, Le stockage électrochimique de l'énergie : principes, applications et futurs défis, Mis en ligne sur Cairn.info , 21/05/2015
- [3] Enea, le stockage d'énergie enjeux solutions techniques et opportunités de valorisation, Mars 2012
- [4] Marion PERRIN, Romain Tessard, 'Stockage d'énergie électrique', Montpellier, France, 2014
- [5] M. Yaichi, M.K. Fellah, A. Neçaibia et A. Mammeri, " Structure des Onduleurs Multiniveaux Asymétriques" "Applications aux Systèmes Photovoltaïques" , International Conference on Energy and Sustainable Development, 29-30 November 2011
- [6] M. Adouane¹, M. Haddadi², A. Malek³ et M. Hadjiat¹, Etude et conception d'un onduleur monophasé autonome géré par microcontrôleur PIC 16F876A, Centre de Développement des Energies Renouvelables, Bouzaréah, Alger, Algérie , 2009
- [7] BOUKAROURA Abdelkader, modélisation et Diagnostic d'un Onduleur Triphasé par l'Approche Bond-Graph Mémoire, MAGISTER EN ELECTROTECHNIQUE, université Farhat abas , setif, algerie, 2009
- [8] OKBA Salah et BEDDIAR Walid Etude et réalisation d'un onduleur de tension triphasé à MLI , présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF, m'sila , algerie, 2019
- [9] <https://panneau-solaire.ooreka.fr/comprendre/panneau-solaire-photovoltaïque,21/06/2016>
- [10] <https://www.dekloo.net/projets/photovoltaïque-autoconsommation/caracteristiques-panneau-photovoltaïque/689>
- [11] <https://www.technoscience.net/definition/3172.html#:~:text=Le%20hacheur%20ou%20convertisseur%20continu,continue%20avec%20un%20rendement%20%C3%A9lev%C3%A9.>
- [12] <https://pageperso.lis-lab.fr/zhongliang.li/1-Hacheurs.pdf>
- [13] <http://dSPACE.univtlemcen.dz/bitstream/112/12953/1/Ms.Eln.Chouikhi.pdf>
- [14] <http://www.ohm-easy.com/blog/sources-alimentation/20160512-comprendre-energie-solaire-regulateur-solaire/>
- [15] <https://www.lepanneausolaire.net/les-differentes-technologies-contrôleurs-charge.php>

- [16] <http://www.dsnsolar.com/info/pwm-solar-charge-controller-30399539.html>
- [17] <http://www.caribsol.net/produits/regulateurs>
- [18] <http://robert.cireddu.free.fr/SI/PWM-MLI.pdf>
- [19] <https://energieplus-lesite.be/techniques/reseau-electrique5/stockage-energie/stockage-deelectricite/> 25 novembre 2019
- [21] https://www.gunt.de/images/download/Stockage-lectrochimique-connaissances-de-base_french.pdf
- [22] <https://www.energie-rs2e.com/fr/article/stockage-electrochimique-lenergie-definition-simple>, 2020
- [23] http://www.fltsi.fr/tsi/tsi1/Domaines_de_competences/DC04_Choisir_un_actionneur_et_sa_commande/Cours/crs_dc04_acu.pdf, 2016
- [24] <https://www.maxicours.com/se/cours/reaction-d-oxydoreduction-methodes-generales-et-exemples/>, 2020
- [25] <https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/maison-generateur-10705/>
- [26] <https://f5zv.pagesperso-orange.fr/RADIO/RM/RM27/RM27B03.html>
- [27] http://mach.elec.free.fr/divers/poly_accumulateur_plomb.pdf
- [28] <http://www.chimix.com/olymppe/pile1.html>
- [29] <https://www.solarwatt.fr/stocker-lenergie/>
- [30] <https://www.electronique-mixte.fr/formation-pdf/formation-pdf-batteries-panneaux-solaires/cours-11-batteries-solaires-pour-stocker-lenergie/>
- [31] <https://www.energysage.com/solar/solar-energy-storage/what-are-the-best-batteries-for-solar-panels/>
- [32] <https://www.solarquotes.com.au/battery-storage/battery-types/leadacid/>
- [33] <https://www.batterie-solaire.com/Batterie-Gel.htm>
- [34] <https://www.all-batteries.fr/technologie-batterie-vlra-agm.html>
- [35] <https://www.solar-wind.co.uk/off-grid-power-blog/post/lead-carbon-batteries.html>
- [36] <https://www.enermoov.fr/victron-batterie-plombcarbone.html>
- [37] <https://www.arrow.com/fr-fr/research-and-events/articles/i-pro-e-i-contro-delle-batterie-al-litio>
- [38] <http://energie-futur.com/batteries-lithium-ion-avantages-et-inconvenients/>
- [39] Manuel de l'Utilisateur Onduleur/Chargeur Série SW3048E,2001