



Développement sous PROTEUS® d'un Régulateur Basé sur un Algorithme de Charge Efficace et Sécurisée pour Batteries au Plomb dans un Système Photovoltaïque

W. MERROUCHE ^{#1}, H. TEBIBEL ^{*2}, A. MALEK ^{#3}

*# Division Energie Solaire Photovoltaïque, Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER
B.P 62, Route de l'observatoire, 16340 Bouzeréah, Alger, Algérie*

¹merrouchew@gmail.com

³amalek@cder.dz

** Division Hydrogène & Energie Renouvelables, Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER
B.P 62, Route de l'observatoire, 16340 Bouzeréah, Alger, Algérie*

²tebibelhammou@gmail.com

Résumé— Dans ce travail il a été développé sous environnement « PROTEUS®7 PROFESSIONAL » un régulateur de charge et de control pour les éléments de batterie plomb-acide dans un système photovoltaïque, dont l'algorithme est basé sur la technique de commande MLI. Le fichier numérique est implémenté dans le microcontrôleur Microchip8-bit PIC16F877. Les fonctions de ce régulateur sont: la mesure de la température, le courant et la tension aux bornes des éléments de la batterie, pour en déterminer l'état de charge et les valeurs seuils de régulation compensées par la valeur de la température. De cette manière, le régulateur contrôle donc la charge et protège la batterie des surcharges en faisant varier la quantité de courant par l'utilisation d'un convertisseur BUCK DC-DC d'une part, et de commander en décharge le transistor MOSFET à la sortie pour bloquer ou débloquer le récepteur dans le cas d'une décharge profonde ou des très basses températures de congélation d'autre part.

Mots clés — Algorithme de charge, éléments de batterie plomb-acide, compensation thermique, système photovoltaïque, Logiciel PROTEUS.

I. INTRODUCTION

La batterie acide-plomb dans un système photovoltaïque, le moyen de stockage le plus répandus par le biais de son aptitude au cyclage, représente environ 15% des investissements initiaux mais sur une durée d'exploitation de vingt ans, elle dépasse en général les 50% du coût global du système; il est donc important d'augmenter la durée de vie de ce composant pour abaisser le coût de l'énergie produite. Par conséquent, concevoir un bon chargeur est l'objectif fondamental des chercheurs des systèmes photovoltaïques; puisque, la batterie reste l'élément le plus délicat du système et la qualité de son control et son entretien influence

grandement sa durée de vie et donc le prix du kWh final. [1, 2, 6].

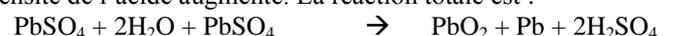
La fonction principale d'un chargeur photovoltaïque est le control de la charge pour avoir une charge complète de la batterie et la protéger contre les risques de surcharge et des courants trop élevé causeront une diminution de la durée de vie de la batterie. En charge, les premiers 70% au 80% de la capacité de la batterie sont faciles à aboutir, mais les derniers 20% ou 30%, importants pour une durée de vie plus longue de la batterie, requièrent plus d'attention et donc plus de complexité. La température de la batterie est un paramètre important à considérer si on veut assurer une charge appropriée et maximiser la durée de vie de cette dernière.

Compte tenu de ce qui précède, ce document propose un nouveau type d'algorithme de charge des batteries plomb-acide dans un système photovoltaïque, basé sur la technique MLI pour assurer un control efficace de l'état de charge de la batterie. L'algorithme détermine l'état de charge et les valeurs seuils de régulations compensées par la valeur de la température. Dès lors, il pourra contrôler la charge de la batterie plomb-acide pour atteindre sa pleine charge et la protéger contre les surcharges. Ce système garantie davantage une durée de vie plus longue de la batterie, économie d'énergie et une réduction des coûts de maintenance.

II. BATTERIE PLOMB-ACIDE EN CHARGE

A. Fonctionnement chimique de la batterie pendant la charge

Quand on charge la batterie au plomb le résultat de la réaction est la formation de plomb et d'acide sulfurique et la densité de l'acide augmente. La réaction totale est :





B. Courbe de charge

Pendant la charge, l'accumulateur est un récepteur. Si on trace graphiquement (Figure 1) la différence de potentiel à ses bornes en fonction du temps, on constate qu'après un court régime transitoire elle s'établit aux environs de 2,2 V/elt à 25°C. (13.2V tension de la batterie). Dans cette période la densité d'ion augmente, ce qui fait baisser la résistance interne R_b , et augmenter la tension V_b . L'équation électrique de la charge est :

$$V_{bat} = V_b + I_{bat}R_b \quad (1)$$

En fin de charge (point M), on note un accroissement rapide de la tension. Les plaques, complètement polarisées ne retiennent plus de courant, car la densité de matériel actif baisse. Ce courant tend alors à électrolyser l'eau, produisant de l'oxygène et de l'hydrogène (O_2 sur l'électrode positive et H_2 sur l'électrode négative). Ce phénomène est appelé gazéification.

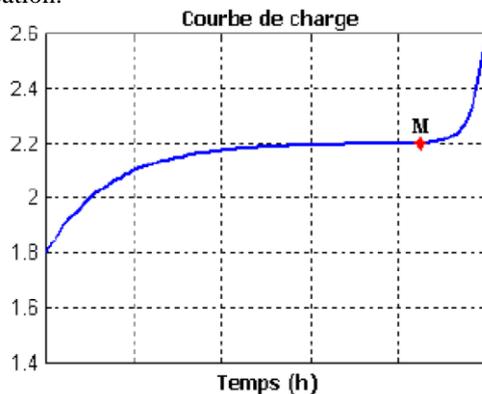


Fig. 1 Comportement de l'accumulateur au plomb vis-à-vis le phénomène de charge

III. CONDITIONS DE CHARGE POUR UNE DUREE DE VIE PLUS LONGUE DE LA BATTERIE

C. Limitation de courant

Du fait de la faible résistance interne de la batterie, au début de la charge il faut limiter le courant. Sinon il y a un risque d'échauffement des plaques qui alors se détérioreraient. Un courant trop élevé peut même provoquer une déformation des électrodes à l'intérieur, ce qui pourrait créer un court-circuit. La valeur normale de limitation de ce courant est égale à environ 1/4 à 1/5 de la capacité nominale. Systématiquement le courant et le temps de charge doivent être indiqués sur la batterie. [1]

D. Tension d'entretien (floating)

Lorsque la batterie est chargée, l'idéal est de continuer à lui fournir un petit courant d'entretien sous une tension plus faible, dite "tension d'entretien ou Floating". Cette tension aura une valeur environ 13,6V (entre 2,25V et 2,28V par

élément). Le courant d'entretien permet d'avoir toujours à disposition une batterie en pleine charge (100%), état de charge important pour maximiser sa durée de vie.

E. Protection contre le risque de laisser durer la surcharge

On atteint l'état de surcharge de la batterie lorsque sa matière active est presque complètement transformée et quand l'électrolyte commence à libérer des gaz. Si on laisse durer ce phénomène, des graves inconvénients apparaissent affectant la durée de vie de la batterie comme: [4,5,9,18].

- La batterie n'est jamais bien chargée car le courant intense qui produit le bouillonnement n'est employé qu'à détruire l'eau de l'électrolyte et non à dessulfater.
- Le niveau de l'électrolyte baisse rapidement. En effet un ampère-heure de surcharge détruit un tiers de gramme d'eau. Avec un régime de surcharge double ou triple du régime normal le niveau du liquide baisse de plus d'un millimètre à l'heure ce qui fait qu'après dix heures de surcharge la partie supérieure des plaques commence à se découvrir et se désagrège (défragmente) rapidement.
- La concentration de l'électrolyte augmente du fait de la disparition de l'eau.
- L'augmentation de la température qui résulte de la surcharge, aggrave l'usure (détérioration langue et progressive) des plaques en augmentant la solubilité du sulfate de plomb.
- Le violent dégagement gazeux qui accompagne la surcharge accélère par effet mécanique la désagrégation des plaques. Du matériel actif peut être délogé par les bulles de gaz [1].
- Corrosion accélérée de la plaque négative (du plomb) par l'oxygène.

F. Nécessité d'une légère gazéification

Une légère gazéification est cependant nécessaire et recommandée. Les bulles de gaz brassent l'électrolyte et le rendent plus homogène. Si on n'atteint jamais ce stade final, l'électrolyte deviendra stratifié, la concentration d'acide sera plus importante au fond du bac, ce qui accélèrera la corrosion des plaques et entraînera une sulfatation. [1]

G. Compensation thermique

L'activité électrochimique de la batterie est fortement dépendante de la température. A haute température une batterie accepte facilement la charge et commence sa gazéification à plus basse tension. Si on utilise en climat chaud un algorithme de charge réglé pour une température tempérée (20-25°C), la tension de coupure trop haute (par rapport à la tension de gazéification) va accélérer la corrosion et faire perdre l'électrolyte. Ce phénomène est spécialement important lorsque le courant de charge est élevé et que les pertes ohmiques de la batterie font augmenter sa température



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 2nd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



interne. Au contraire pour les batteries utilisées dans un climat froid, les tensions fixes de la régulation vont empêcher la charge totale de la batterie (coupure avant d'atteindre la tension de charge maximale) qui vieillira prématurément car elle ne sera jamais totalement chargée [1].

Pour tenir compte de ce phénomène et maximiser la durée de vie de la batterie, un coefficient négatif de compensation de la tension ($-5\text{mV}/^\circ\text{C}$) par cellule devra être utilisé pour des températures éloignées de 25°C . La correction de la température par élément par rapport à la température de 25°C est donnée par la relation empirique suivante :

$$V = V_{25} - 0.005 \times (T - 25) \quad (2)$$

Avec : V_{25} est la tension par élément de batterie à 25°C et V est la tension par élément de batterie à la température T en $^\circ\text{C}$.

H. Mode de charge

Un mode de charge approprié est important pour obtenir une durée de vie optimale quelles que soient les conditions d'utilisation de la batterie. Plusieurs méthodes de charge permettent de respecter les normes générales de charge des batteries. Nous pouvons citer celles dont la procédure est communément admise [16, 17] : charge en tout ou rien, charge à tension constante, charge à courant constant, charge pulsée et le mode de charge rapide.

Toutefois, certains chargeurs enfin réalisent une charge avec une gazéification forcée sous contrôle [19]. Cette méthode sert à éliminer la stratification de l'électrolyte produite pendant les longues périodes de décharge de la batterie, ce qui permet de préserver la capacité et la durée de vie de la batterie.

I. Valeurs limites recommandées

Le régulateur coupe le générateur ou le récepteur lorsque l'état de charge/décharge de la batterie atteint l'une des valeurs limites correspondantes au déclenchement de la sécurité. On présente au tableau 1 les valeurs recommandées [1, 13] de tensions de régulation de charge/décharge par élément des batteries plomb-acide à 25°C .

TABLEAU 1. VALEURS RECOMMANDÉES DE LA TENSION DE RÉGULATION DE CHARGE DE BATTERIE OUVERTE AU PLOMB OUVERTE À 25°C

Type de régulateur	Tension /élément (V) à 25°C	Type batterie au plomb ouverte	
		Sn-Pb	Ca-Pb
Tout/rien	V_{fc}	2,4	2,45
	V_{rc}	2,25	2,30
Modifié à tension constante	V_{fbo} (boost)	2,50	2,55
	V_{fc} (charge)	2,35	2,40
	V_{flt} (flottement)	2,25	2,25
	V_{feg} (égalisation)	2,55	2,55

J. Technologie du chargeur

Au début de l'usage du photovoltaïque, deux grandes familles de régulateurs étaient utilisées : les modèles Séries et les modèles Shunts. Avec l'utilisation de plus en plus courante des microprocesseurs, de nouvelles techniques apparaissent. La nouvelle technologie des régulateurs avec modulation de Largeur d'Impulsion MLI (PWM) est une méthode très rapide et efficace qui permet d'atteindre l'état de pleine charge d'une batterie solaire, nécessaire pour prolonger sa durée de vie. [1]

TABLEAU 2. PHASES DE CHARGE ET SEUILS

Phases / Seuils	Phase 1 (I_{max})	Phase 2 (V_{max})	Phase 3 (V_{float})
Début Phase	« $V < V_{\text{min}}$ » ou « $\text{Charg}=1$ »	Première atteinte « $V > V_{\text{max}}$ »	« $V > V_{\text{max}}$ » & « $I < I_{\text{min}}$ »
Fin Phase	Première atteinte $V > V_{\text{max}}$	« $V > V_{\text{max}}$ » & « $I < I_{\text{min}}$ »	« $V < V_{\text{min}}$ »
$I_{\text{max}}=C/5=5\text{A}$	$I < I_{\text{max}}$	$I < I_{\text{max}}$	$I < I_{\text{max}}$
$I_{\text{min}}=C/100=50\text{mA}$	-	$I > I_{\text{min}}$	-
$V_{\text{min}}=12.6\text{V}$	-	$V > V_{\text{min}}$	$V > V_{\text{min}}$
$V_{\text{max}}=14.4\text{V}$	$V < V_{\text{max}}$	$V < V_{\text{max}}$	-
$V_{\text{float}}=13.6\text{V}$	-	-	$V < V_{\text{float}}$

IV. MODE ET TECHNOLOGIE ADOPTES

A. Mode de charge à trois phases

Plusieurs examens attentifs de la Figure1 confirment qu'un régulateur de charge pourrait être encore meilleur si on adopte la méthode de charge à trois phases (Voir la figure 3 et le tableau 2) suivante:

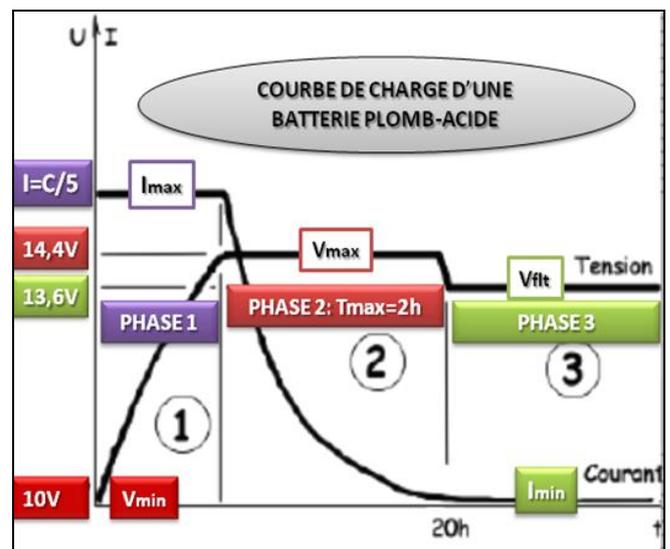


Fig. 3. Courbe de charge de la batterie plomb-acide 12V



Phase 1 : Charge au début à un courant relativement élevé qui correspond au courant maximale fourni par le générateur PV. Le courant est limité à 1/5 de la capacité nominale. La tension augmente progressivement jusqu'à atteindre le seuil maximal régulé 14,4 Volts (2,4V par élément) à 25°C. (Voir Tableau 1)

Phase 2 : Charge forcée à tension constante, où la tension est régulée à 14,4 Volts, pour avoir une légère gazéification. La fin de cette phase est à la valeur du courant C/100 [8].

Phase 3 : Charge d'entretien à tension constante, Une fois la batterie est chargée, on passe au mode de charge d'entretien (Floating) pour la maintenir à 100% de charge. La tension appliquée à la batterie sera autour de 13,6V (entre 2,25V et 2,28V par élément) à 25°C.

B. Technologie PWM (série)

Cette technologie achève la dernière portion du processus de la charge (la plus complexe) et diminue la sulfatation des plaques car le courant de charge de la batterie est pulsé à haute fréquence. Contrairement aux contrôleurs les plus anciens qui n'agissaient sur le courant de charge que par ON-OFF (ce qui est suffisant que pour charger la batterie à environ 70%), le régulateur à technique PWM vérifie constamment l'état de charge de la batterie pour ajuster la durée et la fréquence des impulsions de courants à lui délivrer.

V. CONFIGURATION DU SYSTEME DE CHARGE

Le schéma proposé du système de charge est représenté sur la Figure 4. Ce système consiste principalement en quatre composants, qui sont le GPV, le convertisseur DC-DC, la batterie plomb-acide, et le système de contrôle.

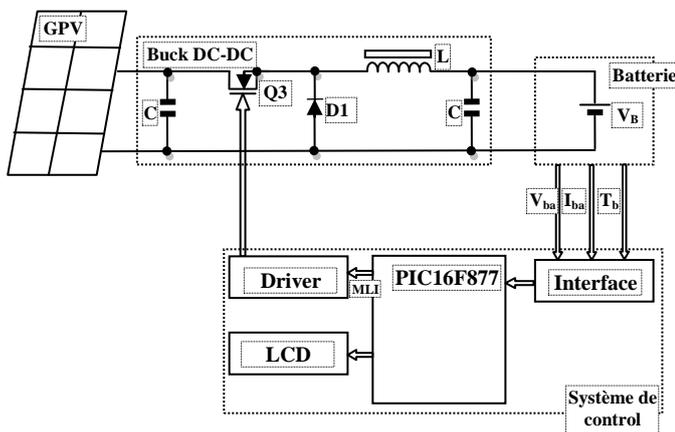


Fig. 4. Schéma fonctionnel proposé du système de charge de batterie

Dans ce travail, les deux composants importants qui sont nécessaires pour réaliser l'algorithme de charge proposé sont le convertisseur (hacheur) DC-DC et le système de contrôle. Considérant que, Le GPV et la batterie sont la source de

puissance et la charge (récepteur) du convertisseur DC-DC, respectivement.

A. Le générateur photovoltaïque GPV

Le générateur PV choisi, dans ce travail, est un module SM55, dont les spécifications techniques aux conditions de test standard (c.-à-d. 1000 W.m⁻² et 25°C) [2] sont les suivantes:

- Puissance maximale $P_{SM55MAX}$: 55W
- Tension maximale $V_{SM55MAX}$: 17.4V
- Courant maximal $I_{SM55MAX}$: 3.4A
- Tension en circuit ouvert V_{co} : 21.7V
- Courant de court circuit I_{cc} : 3.4A

Le GPV utilisé a une caractéristique tension-courant (V(I)) non linéaire décrite comme [3] :

$$V_{PV} = AV_T \ln\left(\frac{I_{ph} - I_{PV}}{I_r} + 1\right) - I_{PV}R_s \quad (3)$$

Avec: V_{PV} est la tension du panneau PV, I_{PV} est le courant du, I_{ph} est le photo-courant produit par le panneau, I_r est le courant de saturation, R_s est la résistance série, A est le facteur d'idéalité et V_T est la tension thermique.

B. La batterie

La batterie utilisée avec électrolyte liquide plomb-acide est de type ouverte, de la tension nominale 12V (six éléments) et de la capacité 25Ah.

C. Le convertisseur (Hacheur) DC-DC

Dans la plupart des applications PV, les convertisseurs DC-DC [7, 8, 15] sont utilisés pour ajuster le point de fonctionnement du système sur la puissance désiré du GPV. Le convertisseur dévolteur (Buck) peut être utilisé pour conduire une basse tension de sortie à partir d'une source de haute tension.

TABLEAU 3. VALEURS DU RAPPORT CYCLIQUE POUR UNE INTENSITÉ DU COURANT MAXIMALE AUX BORNES DE LA BATTERIE

V_{SEUIL}	$V_{in}=V_{SM55MAX}$	$P_{SM55MAX}$	D	$I_{out,max} = I_{batt,max} = P_{SM55MAX}/V_{out}$
11V	17.4V	55W	63%	5A
12V	17.4V	55W	69%	4.58A
$V_{min}=12.6V$	17.4V	55W	72%	-
13V	17.4V	55W	74%	4.23A
$V_{float}=13.6V$	17.4V	55W	78%	-
14V	17.4V	55W	80%	3.92A
$V_{max}=14.4V$	17.4V	55W	82%	-
$V_{max}=15V$	17.4V	55W	85%	3.66A

Lors de l'élaboration de notre étude, et selon les panneaux et les batteries disponibles au laboratoire, le générateur



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 2nd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



photovoltaïque est constitué d'un seul module PV de tension à vide 21.7V et de courant de court-circuit 3.4A, destiné à charger une batterie d'accumulateurs avec une tension nominale de 12V. Ainsi, le choix d'un convertisseur série «buck» (abaisseur) s'impose. Ici, le convertisseur DC-DC, de la figure 4, est utilisé pour charger sans risque la batterie plomb-acide à sa pleine charge, en ajustant le rapport cyclique de commutation D du signal de commande (MLI).

Les variations du rapport cyclique D sont obtenues des caractéristiques du panneau utilisé pour adapter la puissance aux valeurs requises aux bornes de la batterie. Selon le tableau 3, pour avoir une puissance maximale le rapport cyclique doit varier entre 63% aux basses tensions, et 85% aux hautes tensions de la batterie.

D. Système de contrôle

Le signal de commande PWM est généré, à partir du système de contrôle. Ce signal ajuste le rapport cyclique du convertisseur DC-DC, qui peut alternativement adapter les caractéristiques de puissance d'entrée de convertisseur pour extraire la puissance électrique désirée à partir du GPV et de la transférer à la batterie.

1) Partie commande PIC16F877

On travail avec un PIC16F877 caractérisé par 2 PWM, 8 entrées analogiques, mémoire de type Flash, fréquence d'horloge 20MHz. Les broches du PIC et leurs différentes fonctions sont expliqués par le tableau 4.

TABLEAU 4. BROCHES DU PIC ET LEURS DIFFÉRENTES FONCTIONS

Ports	Fonction	Détails
Ports RA	Entrées analogiques de Mesure	RA0 : Vbat RA1 : Ibat RA2 : Tbat
Ports RB	Commandes Afficheur	-
Ports RD	Commandes Diodes de signalisation	RD1 : Vmin RD2 : Vfloat RD3 : Vmax
RC2/CCP1	Générer signal MLI	50KHz
OSC1/OSC2	Oscillateur 20MHz	-
Pins 12/32	V _{DD}	-
Pins 11/33	V _{SS}	-

2) Afficheur LCD et LEDs de signalisation

L'afficheur LCD et les diodes lumineuses LEDs permettent l'affichage et la signalisation des différents niveaux de charge de la batterie, de la température. (Voir tableau 5)

3) Compensation thermique

Le régulateur utilise des seuils de tensions ajustables compensées de (-5mV/°C) par élément, ce qui correspond à -30Mv/°C pour une batterie de 12V.

$$V = V_{25} - 0.030 \times (T - 25) \quad (4)$$

TABLEAU 5. AFFICHEUR ET LEDs DE SIGNALISATION

Signalisation	Couleur ou type	Fonction
LED RD1	Jaune	V _{min} Retour à la Phase1
LED RD2	Verte	V _{float} Floating(Phase3)
LED RD3	Bleu	V _{max} Absorption (Phase2)
LAMP	-	Récepteur
Afficheur LM016L	16x2 Alphanumérique LCD	Visualisation Différents états Batt

4) Algorithme de charge

L'organigramme de charge à trois phases est représenté dans la Figure 5, où k est l'instant de mesure du courant I_{bat}, de la tension V_{bat}, et de la température T_a.

Avant chaque période de correction du rapport cyclique, le microcontrôleur devra faire l'algorithme de mesure et de la compensation thermique des seuils de mesure. On fait la mesure de Vbat et Ibat et Ta. Nous effectuons un petit retard après chaque mesure, effectuer la conversion A/N. L'algorithme utilise un coefficient de compensation de : -30Mv/°C pour la batterie de 12V.

VI. RESULTATS ET DISCUSSION

Dans ce travail l'algorithme de charge a été développé sous environnement « PROTEUS@7 PROFESSIONAL ». Le fichier numérique est implémenté dans le microcontrôleur Microchip8-bit PIC16F877. Ce logiciel nous permet la visualisation animé de chaque phase de charge de la batterie, et encore d'extraire les courbes de tension-courant en charge, en utilisant l'option : ANALOGUE ANALYSIS de PROTEUS.

Pour développer une application autour d'un microcontrôleur on a besoin d'un système de développement. Ce système est au minimum un assembleur et parfois un ou des compilateurs adaptés aux langages évolués selon le besoin de l'application à réaliser. Lors de notre projet nous avons utilisé le compilateur « miKro-C ».

Afin d'étudier les capacités du nouvel algorithme de charge à l'aide du convertisseur DC-DC, relatives à l'utilisation réelle, on a fait des différentes simulations à des conditions de charge varié pendant les phases de charge. Il doit être noté, ici, que ces variations sont délibérément assumées pour simuler la nature aléatoire des conditions environnementales considérées.

La Figure 6 illustre Les courbes tension-courant obtenues après une simulation de système de charge à la température

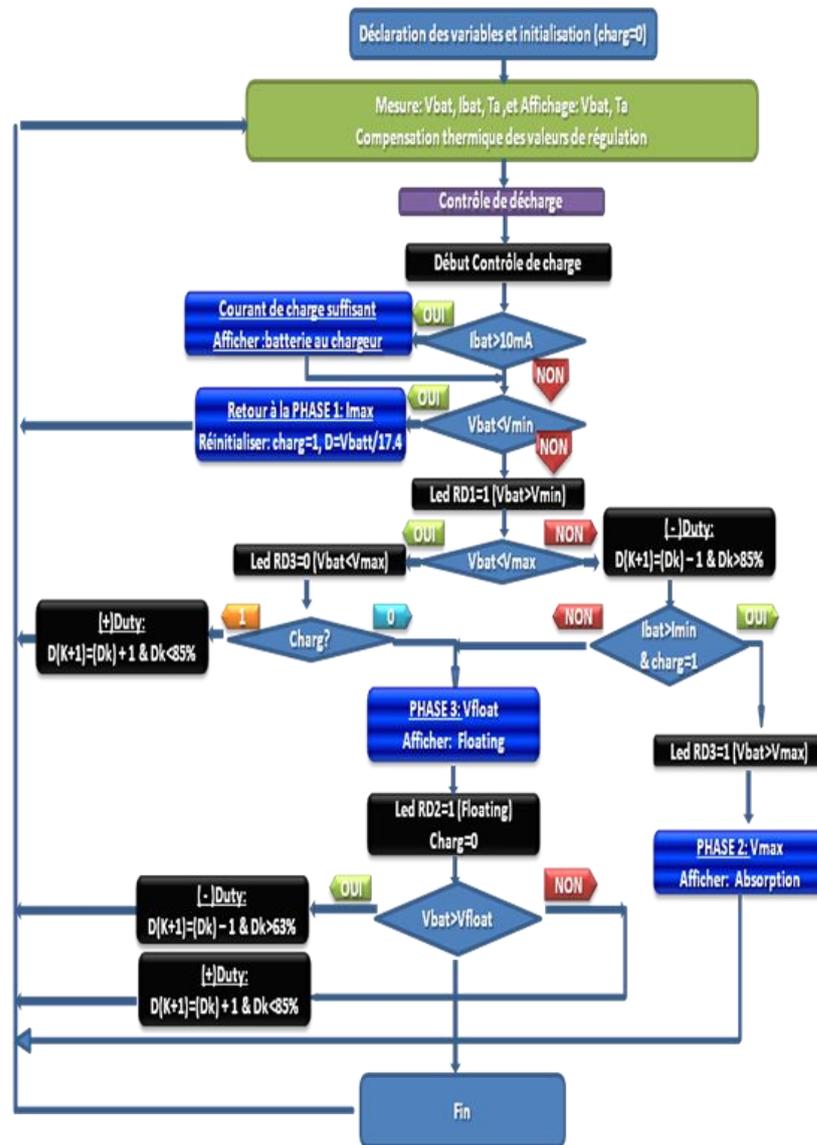


Fig. 5. Organigramme de charge

fixe 29°C dans. Les valeurs de tensions seuils sont compensé à: 14.28V pour la tension maximale, 13.48V pour la tension d'entretien et 12.48V pour la tension minimale. Ces courbes montrent une similitude avec les courbes de repère représentées dans la figure 3. Les trois phases de charge apparaissent clairement comme suit:

Phase 1 : Le courant est limité à un tau d'environ 5A. La tension augmente progressivement jusqu'à atteindre le seuil maximum régulé à 14.28V, où la LED bleue sera allumée.

Phase 2 (boost): La phase d'absorption commence au premier dépassement du seuil de tension maximum (la LED bleue sera allumée) est régulée à $V_{max}=14,4$ Volts (2,4V/elt), le

courant de charge diminue alors jusqu'à devenir inférieure à $I_{min}=C/100$. La tension ne doit pas rester au dessus de 14,4V plus longtemps (Cette phase doit durer maximum 2heures). La tension de charge est réduite et fixée pour basculer autour de V_{max} , le courant de charge diminue alors jusqu'au seuil I_{min} . La batterie est chargée à l'issue de cette phase mais pas à 100% SOC. Cette tension est régulée en variant le rapport cyclique (abaisser ou augmenter).

Phase 3 (floating): Une fois la batterie est chargée ($I < I_{min}$), on passe au mode charge d'entretien (Floating) pour amener et maintenir la batterie à sa pleine charge. Donc, La tension appliquée au borne de la batterie sera autour de V_{float} . Tension

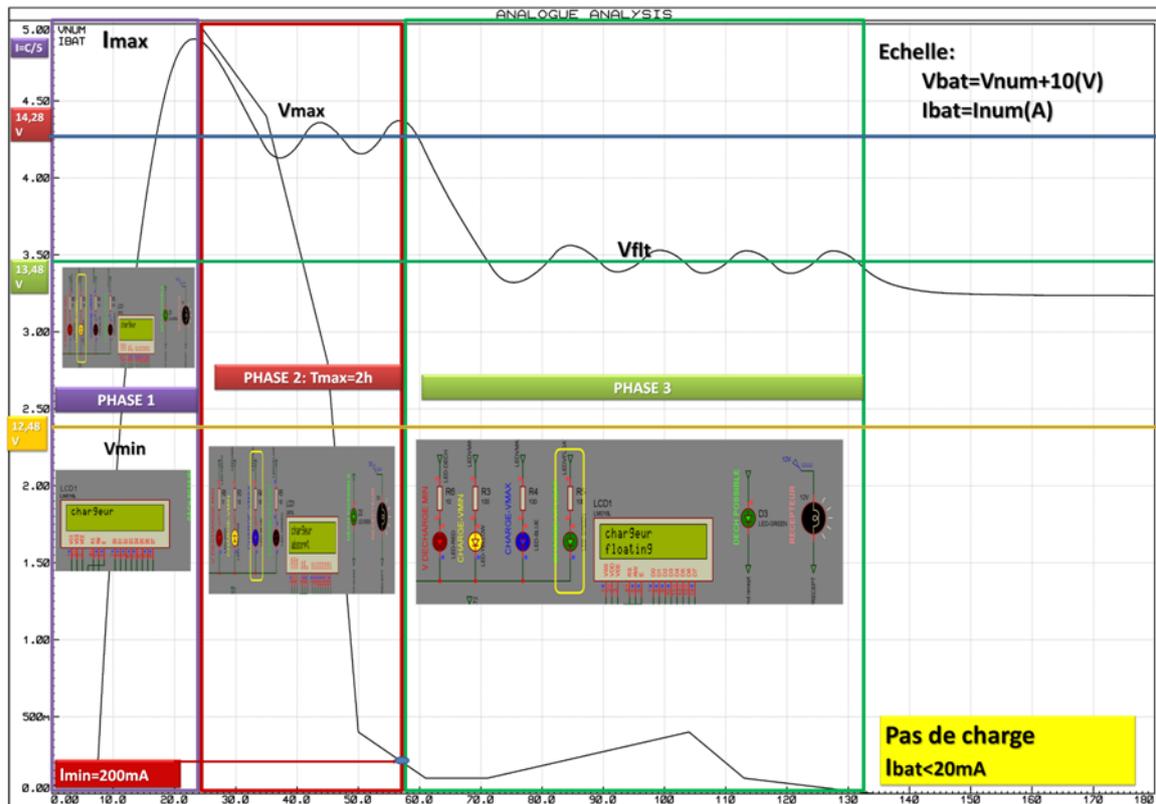


Fig. 6. Courbes Vbat, Ibat à 29°C avec Afficheur et signalisation LEDs

de floating est régulée en variant le rapport cyclique (abaisser ou augmenter).

On ne revient à la Phase 1 que lorsque V_{bat} descend au-dessous de seuil minimal V_{min} . (Voir tableau 2).

VII. CONCLUSION

À la différence des types de régulateurs de charge traditionnels, les convertisseurs DC-DC peuvent charger les batteries plomb-acide avec une bonne adaptation de leurs propriétés aux caractéristiques du générateur photovoltaïque. Ce nouvel algorithme de charge utilise les performances des convertisseurs DC-DC en systèmes PV. Il est appliqué dans un système de charge PV/Batterie proposé, pour charger les batteries plomb-acide suivant un mode de charge qui peut maximiser sa durée de vie.

L'algorithme proposé est basé sur l'utilisation de mode de charge à trois phases. La fonction de la première phase est de charger effectivement la batterie plomb-acide (pour s'éloigner du faible état de charge réducteur de la durée de vie) en utilisant le maximum courant fourni par le GPV à environ 90-95% SOC. Tandis que la deuxième phase (boost), qui est basé sur une légère gazéification forcée sous contrôle, sert à éliminer la stratification et la sulfatation de l'électrolyte, ce qui permet de préserver la capacité et la durée de vie de la

batterie. Enfin, le rôle de la troisième phase (floating), est d'amener et maintenir la batterie à sa pleine charge et donc prolonger la durée de vie des batteries. La compensation thermique, utilisée dans cet algorithme, garantit un bon control des seuils tensions de la batterie à différentes températures. Ce qui protège la batterie de la coupure trop haute (par rapport à la tension de gazéification) qui va accélérer la corrosion et faire perdre l'électrolyte, ou au contraire de la coupure trop basse (par rapport à la tension de fin de charge) qui empêche la charge totale de la batterie et la vieillira prématurément car elle ne sera jamais totalement chargée.

VIII. REFERENCES

- [1] Anne Labouret, Michel Viloz, *Energie solaire photovoltaïque*, 4^{ème} édition, DUNOD, Paris, 2009.
- [2] Tom Markvart and Luis Castafier, *Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications*, Elsevier Science Ltd, Oxford, UK, 2003.
- [3] Nafeh Abd El-Shafy A. *A modified MPPT control Loop for PV/battery charging system using PI Controller optimally tuned with GA*. International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields 2010; DOI: 10.1002/jnm. 764.
- [4] T.R Crompton, *Battery Reference Book*; Newnes; 3rd edition (May 25, 2000); Oxford.
- [5] H.A Kiehne, *Battery Technology Handbook*; CRC Press; 2nd edition (August 1, 2003); New York.



**Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables**
**The 2nd International Seminar on New and Renewable
Energies**

**Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012**



- [6] Yang XG, Taenaka B, Miller T, Snyder K. *Modeling validation of key life test for hybrid Electric vehicle batteries*. International Journal of Energy Research 2010; 34(2):171–181.
- [7] Koutroulis E, Kalaitzakis K, Voulgaris NC. *Development of a microcontroller-based, photovoltaic maximum power point tracking control system*. IEEE Transactions on Power Electronics 2001; 16(1): 46–54.
- [8] E.Koutroulis and K. Kalaitzakis. *Novel battery charging regulation system for photovoltaic application*, IEE,2004.
- [9] Michael Root, *The TAB Battery Book: An In-Depth Guide to Construction, Design, and Use*; McGraw-Hill/TAB Electronics; 1st edition (November 12, 2010); USA.
- [10] [10] A. F Boehinger "Self-adaptive DC converter for solar spacecraft power supply", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1968, AES-4, n°1, pp 102-111.
- [11] James P. Dunlop, P.E. "Batteries and Charge Control in Stand-Alone Photovoltaic Systems Fundamentals and Application", Sandia National Laboratories Photovoltaic Systems Applications Dept. PO Box 5800 Albuquerque, NM 87185-0752, January 15, 1997.
- [12] Unitrode Corporation, 'Improved Methods for Charging Lead-Acid Batteries Using the UC3906, U-104 Application Note', Unitrode Applications Handbook, 1997, pp.3-78 - 3-88. (Texas Instruments Inc.)
- [13] Norme internationale CEI 61427, "Accumulateurs pour les systèmes photovoltaïques (SPV) – Exigences générales et méthodes d'essais", 2^{ème} édition, 2005, International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland.
- [14] Michael Root; *The TAB Battery Book: An In-Depth Guide to Construction, Design, and Use*; McGraw-Hill/TAB Electronics; 1st edition (November 12, 2010); USA.
- [15] Hou CL,Wu J,Zhang M,Yang JM, Li JP. Application of adaptive algorithm of solar cell battery charger. Proceedings of the IEEE International Conference on Electric Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies (DRPT2004), Hong Kong, April 2004; 810–813.
- [16] Angel Cid Pastor, *Evaluation Comparative de Chargeurs de Batteries pour Systèmes Photovoltaïques*, Rapport de Stage Projet Fin d'Etudes, LAAS Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes, Toulouse, Septembre 2002.
- [17] A. Daoud- A. Midoun, *Fuzzy Control of a Lead Acid Battery Charger*, J. Electrical Systems 1-1 (2005): 62-72 Regular paper.
- [18] R M Dell & D A J Rand & Paul Connor & Robert (Bob) D Bailey; *Understanding Batteries*; Royal Society of Chemistry; 1 edition (July 19, 2001); USA.
- [19] D. Linden, Thomas B.Reddy, *Handbook of Batteries*, 4th Edition. Ed. McGraw-Hill, INC New York 2011.