



Modélisation d'un système photovoltaïque autonome

M Saad Saoud⁽¹⁾, H Abbassi⁽¹⁾, M kermiche⁽¹⁾ and M Ouada⁽²⁾

⁽¹⁾Laboratoire d'Automatique et Signaux Annaba

⁽¹⁾Laboratoire d'Automatique et Signaux Annaba

⁽²⁾Laboratoire d'Automatique et Signaux Annaba

⁽³⁾Département D'Electromécanique

E-Mails:maro34ss@gmail.com abbassi@univ-annaba.org mskermiche@yahoo.fr ouadamehdi@gmail.com

Résumé – Comme tous les systèmes physiques, la modélisation d'un système photovoltaïque autonome est primordiale pour toutes opérations d'optimisation du rendement de ce système. L'objectif de ce papier consiste donc à obtenir par simulation, les caractéristiques et le comportement d'un système photovoltaïque autonome en utilisant l'environnement de simulation Matlab/Simulink. L'idée consiste à assembler le modèle d'un générateur PV, une batterie et un régulateur charge/décharge, qui à le rôle de protection du batterie et de gestion du fonctionnement du système. Afin de visualiser le comportement de cette configuration en fonction des conditions météorologiques (ensoleillement et température) similaires à celles d'une journée ordinaire, et relever en sortie les résultats du courant fournit par le système (I_c). Les paramètres de test qui sont utilisées sont relevés pour un générateur photovoltaïque Solarex MSX 60

Mots clés— modélisation- système photovoltaïque autonome- Matlab

I. INTRODUCTION

LES énergies renouvelables surtout la technologie photovoltaïque (PV) qui représente une solution de remplacement par excellence et elle est de plus en plus utilisée dans nos jours. Ce type d'énergie n'est pas seulement gratuit et inépuisable, mais aussi très propre pour l'environnement. D'ailleurs, on parle souvent d'une « énergie verte », puisqu'elle permet d'éviter totalement la pollution produite par les sources traditionnelles.

La modélisation et la caractérisation électriques des panneaux actuellement commercialisés sont nécessaires afin d'optimiser le fonctionnement des systèmes photovoltaïques [1-2]. Ceci peut réduire d'une manière considérable le coût de l'installation et augmenter le rendement des générateurs PV.

Les systèmes photovoltaïques autonomes ont connu un succès dans le monde, vu leur capacité à couvrir une importante partie de la demande énergétique, tant que la demande à ces types des systèmes PV reste plus élevée dans les milieux isolés où la couverture des réseaux n'existe pas, à cause de leur aptitude du stockage de l'énergie. Parmi les solutions disponibles pour résoudre le problème du stockage dans les systèmes PV, le stockage électrochimique par

batterie d'accumulateur offre une bonne réversibilité entre la décharge et la recharge, les batteries au Plomb-Acide offrent actuellement l'un des meilleurs compromis entre service rendu et coût exploitable.

service rendu et coût exploitable.

II. Modélisation d'un générateur PV

Le générateur photovoltaïque ou un module ou encore un panneau est le groupement d'un nombre déterminé des cellules photovoltaïques. Donc, la modélisation d'un générateur s'extrait à partir de celle d'une cellule dont on va insérer les paramètres qui caractérisent le comportement.

La conversion directe de l'énergie solaire en énergie électrique est obtenue par des cellules solaires [3], la cellule solaire est un dispositif semi-conducteur dont le modèle mathématique est toujours lié à ce qu'on veut en faire, mais reste toujours basé sur un circuit électrique avec différents paramètres.

A. modèle simplifié

La cellule sera modélisée par une source de courant (I_{ph}) en parallèle avec une diode et pour optimiser la modélisation de quelque phénomène au niveau de la cellule, le modèle comme le montre la figure (Fig. 1) est enrichi par une résistance série (R_s) qui modélise les pertes ohmiques des contacts. [4][5][6].

Ce modèle électrique modélise la cellule en un générateur de courant idéal, selon la loi des nœuds, le courant résultant (I) est donné par :

$$I = I_{ph} - I_d \quad (1)$$

Avec I_{ph} : le photocourant qui est constant pour un ensoleillement donné.

Le courant traversant la diode:

$$I_d = I_s [e^{q(v+IR_s)/nKT} - 1] \quad (2)$$

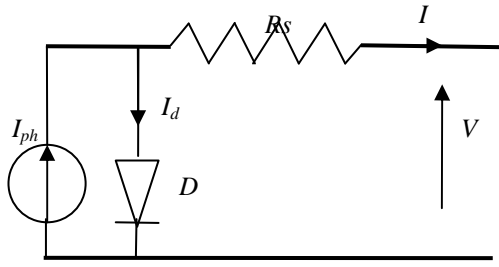


Fig. 1 Modèle simplifié

Le courant fournit par ce modèle est donc donné par :

$$I = I_{ph} - I_s [e^{q(v+IR_s)/nKT} - 1] \quad (3)$$

Avec : q : la charge électrique élémentaire (charge d'électron) (1.6×10^{-19} C), K : la constante de Boltzmann (1.38×10^{-23}), V : la tension aux bornes de la cellule, n : Facteurs d'idéalité ($1 < n < 3$), T : la température ambiante ($^{\circ}K$).

B. modèle à une diode

C'est un modèle semblable au premier modèle (modèle simplifié), une source de courant et une diode en parallèle avec une résistance en série, sauf l'exception de la résistance shunt (R_{sh}) qui a une grande influence sur le courant généré par le modèle et qui est proche du courant d'une cellule. Physiquement, la résistance shunt sert à la modélisation des pertes autour de la jonction dues aux impuretés et sur les coins de cellule [7].

Le courant généré par ce modèle est donné par :

$$I = I_{ph} + I_d + I_{sh} \quad (4)$$

Avec : $I_{sh} = (v+IR_s)/R_{sh}$: Le courant qui traverse la résistance parallèle.

$$I = I_{ph} - I_s [e^{q(v+IR_s)/nKT} - 1] - (v+IR_s)/R_{sh} \quad (5)$$

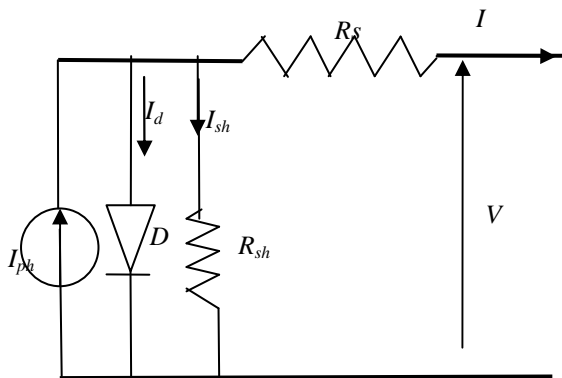


Fig.2 Modèle à une diode

Ce modèle présente des difficultés de calcul et de développement mathématique, mais il donne un courant semblable au courant d'une cellule PV selon la relation :

$$I = I_{ph} - I_{d1} - I_{d2} - I_{sh} \quad (6)$$

$$I = I_{ph} - I_{s1} [e^{q(v+IR_s)/n_1 KT} - 1] - I_{s2} [e^{q(v+IR_s)/n_2 KT} - 1] - I_{sh} \quad (7)$$

Où : n_1 est le facteur d'idéalité de la diode 1, le n_2 pour la diode 2, I_{s1} est le courant de saturation de la diode 1, I_{s2} pour la diode 2.

C. Modèles mathématiques

A partir de l'équation (1, 4 et 6) donnant le courant fourni par une cellule, on va construire les modèles mathématiques pour avoir le courant fourni par un générateur de n cellules identiques, soit :

$$n = n_p * n_s \quad (8)$$

n_s : nombre des cellules montée en série,

n_p : nombre des cellules en parallèle,

Le courant fourni peut s'écrire comme suit :

$$1^{er} \text{ modèle : } I_g = I_g \cdot ph - I_g \cdot d \quad (9)$$

$$2^{ème} \text{ modèle : } I_g = I_g \cdot ph - I_g \cdot d - I_g \cdot sh \quad (10)$$

$$3^{ème} \text{ modèle : } I_g = I_g \cdot ph - I_g \cdot d1 - I_g \cdot d2 - I_g \cdot sh \quad (11)$$

Où :

$I_g = n_p \cdot I$: Le courant délivré par le générateur.

$I_{gph} = n_p \cdot I_{ph}$: Le photocourant du générateur.

$I_{g.d} = n_p \cdot I_{d}$: Le courant qui traverse les diodes.

$I_{g.sh} = n_p \cdot I_{sh}$: Le courant qui traverse les résistances montées en parallèle:

$$I_g = I_g \cdot ph - I_g \cdot s [e^{\frac{q(V_g + I_g R_{g.s})}{nKT}} - 1] \quad (12)$$

$$I_g = I_g \cdot ph - I_g \cdot s [e^{\frac{q(V_g + I_g R_{g.s})}{nKT}} - 1] - \frac{V_g + I_g R_{g.s}}{R_{g.sh}} \quad (13)$$

$$I_g = I_g \cdot ph - I_g \cdot s1 [e^{\frac{q(V_g + I_g R_{g.s})}{n_1 KT}} - 1] - I_g \cdot s2 [e^{\frac{q(V_g + I_g R_{g.s})}{n_2 KT}} - 1] - \frac{V_g + I_g R_{g.s}}{R_{g.sh}} \quad (14)$$

Avec :

$V_g = n_s \cdot V$: la tension aux bornes du générateur.

$I_{g.s1} = n_p \cdot I_{s1}$: courant de saturation résultant des diodes identiques au d_1 (courant de saturation I_{s1} , facteur d'idéalité n_1).

$I_{g.s2} = n_p \cdot I_{s2}$: courant de saturation résultant des diodes identiques au d_2 (courant de saturation I_{s2} , facteur d'idéalité n_2).

$R_{g.s} = (n_s/n_p) R$: Résistance série résultante du générateur.

$R_{g.s} = (n_s/n_p) R_{sh}$: Résistance parallèle résultante du générateur.

Pratiquement, la valeur de la résistance série (R_s) est très faible, la tension à ses bornes est très faible comparativement avec la tension aux bornes du générateurs ($V_g + I_g R_s \approx V_g$). Donc, les trois équations résultantes des trois modèles deviennent :

$$I_g = I_g \cdot ph - I_g \cdot s [e^{q(vg)/nKT} - 1] \quad (\text{Modèle simplifié}) \quad (15)$$

$$I_g = I_g \cdot ph - I_g \cdot s [e^{q(vg)/nKT} - 1] - V_g / R_{sh} \quad (\text{Modèle à une diode}) \quad (16)$$

$$I_g = I_g \cdot ph - I_g \cdot s1 [e^{q(vg)/n_1 KT} - 1] - I_g \cdot s2 [e^{q(vg)/n_2 KT} - 1] -$$

$$\frac{V_g}{R_{g,sh}} \text{ (Modèle à deux diodes)} \quad (17)$$

Le photocourant (I_{ph}) varie fortement avec l'ensoleillement (E) et faiblement avec la température (T), il est déterminé par rapport à des valeurs données aux conditions de référence:

$$I_{ph} = I_{ph0} \cdot (E/E_0) \cdot [1 + (T - T_0)(5 \times 10^{-4})] \quad (18)$$

Avec : E : l'éclairement: ($E_0 = 1000 \text{ W/m}^2$),

T : température en °K ($T_0 = 298 \text{ °K} = 25 \text{ °C}$);

I_{ph0} : photocourant généré par la diode à T_0 et E_0 .

Le courant de saturation d'une diode est supposé variable avec la température selon l'expression :

$$I_s = I_{s0} (T/T_0)^3 \exp[qE_g (1/T_0 - 1/T) / nk] \quad [8]$$

$$= C_1 (T/T_0)^3 \exp[-qE_g / nkT] \quad (19)$$

E_g : énergie de gap du semi conducteur, C_1 : constant.

Donc le courant qui traverse la diode (I_d) est donné en fonction de la tension aux bornes de la diode (V), la température de sa jonction (T) et son courant de saturation (I_s) selon la formule :

$$I_d = I_s \left[\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (20)$$

La résistance interne d'un semi-conducteur est donnée par la relation :

$$R_{sh} = R_{sh0} + (\alpha - 1) R_{sh0} \exp((-5.5) \cdot E/E_0) \quad (21)$$

Avec : R_{sh0} : valeur de référence donnée par le constructeur, $\alpha = 12$ pour une cellule au silicium amorphe, $\alpha = 4$ pour une cellule au silicium cristalline et autre. Ainsi que le courant (I_{sh}) qui traverse une résistance (R_{sh}) dont la tension à ses bornes V_g , est donnée selon la loi d'Ohm par :

$$I_{sh} = V_g / R_{sh} \quad (22)$$

Les paramètres suivants sont relevés pour un générateur Solarex MSX 60 [6]

$V_{co} = 27.2 \text{ V}$, $I_{cc} = 3.45 \text{ A}$, R_{sh} , coefficient correspond à une cellule au silicium cristalline $\alpha = 4$, $R_{sh0} = 600 \text{ } \Omega$
 $R_s = 30 \text{ } 10^{-3} \Omega$, $E_g = 1.1 \text{ eV}$, $n_s = 288$, $n_p = 16$;

$I_{ph0} = 3.45 \text{ A}$.

III. Modélisation du stockage

Contrairement aux générateurs photovoltaïques, les batteries ne sont plus des composants électriques simples dont le nombre des modèles développés est réduit, alors que n'est pas simple de modéliser les interactions électrochimiques d'une batterie par des circuits électriques simples comme dans le générateur PV. Donc, et vue la grande diversité de type d'éléments de batterie ainsi le nombre très varié de paramètres qui interviennent, une représentation très empirique du comportement de la batterie peut être établie.

A. Description

Une batterie est constituée d'un ensemble d'éléments de 2 V connectés en série pour obtenir la tension d'utilisation

désirée. La valeur usuelle de la tension d'une batterie de démarrage (utilisée dans les voitures) est de 12 V, soit six éléments intégrés dans un même bac, mais dans les systèmes de télécommunication la tension de batterie peut-être de 24 ou 48 V. [7]. Dans les applications photovoltaïques qui nécessitent le stockage, les accumulateurs au Plomb présente la merveilleuse solution, une durée de vie importante, la plus longue durée de décharge, une bonne réversibilité (rendement important), ainsi que la capacité est ajustable par l'augmentation du nombre des éléments. Parmi les paramètres d'une batterie les plus importants, c'est à dire, ceux qui influent fortement sur le fonctionnement de la batterie, on trouve le SOC (State Of Charge, en Anglais) ou EDC (Etat De Charge, en Français) qui influe fortement sur la tension aux bornes de la batterie, la capacité qui a de sa part une influence très importante sur le rendement de la batterie (donc sur sa tension) ainsi que son état de charge. Donc, le modèle choisi (Fig. 4) comprend deux blocs qui servent à la modélisation des deux paramètres précédents (capacité et état de charge) et un bloc modélise la tension de la batterie, pour tenir en compte les différentes pertes du courant au sein de la batterie (dus essentiellement par la gazéification) le modèle est complété par un autre bloc qui sert à la modélisation des ces pertes du courant.

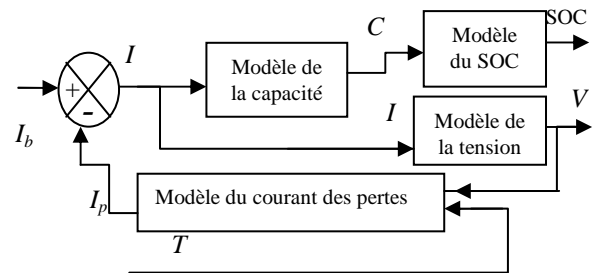


Fig. 4 Schéma bloque d'une batterie

Cette modélisation de la batterie plomb-acide a été proposée par B. Wichert, où :

I_b : le courant incident à de la batterie, I : le courant à l'intérieure de la batterie.

I_p : le courant des pertes, T : la température, V_b : la tension aux bornes de la batteries.

C_b : la capacité de la batterie.

B. Modèles mathématiques

1) Modèle de la capacité

Le modèle de la capacité est décrit par l'intégrale du courant $I_b(t)$ pendant un temps déterminé :

$$C_b(t) = \int I_b(t) dt + C_{b0}(t) \quad (23)$$

Avec: $C_b(t)$: Capacité de batterie (Ah), C_{b0} : Capacité initiale de batterie (Ah).

2) Modèle du SOC

L'état de charge de la batterie est décrit comme étant le rapport entre la valeur de la capacité de batterie $C_b(t)$ et la valeur de la capacité de la batterie après un temps de décharge de dix heures C_{10} .

$$\text{SOC} = \frac{C_b}{C_{10}} \cdot 100\% \quad (24)$$

C_{10} : Capacité de batterie au taux de dix heures de décharge (Ah);

3) Modèle du courant des pertes

L'équation (25) donne la formule du courant de gazéification de la batterie :

$$I_{pe}(C_{10}/100)I_0 \cdot e^{[C_V(V_b(t)-2.23)+C_T(T(t)-20)]} \quad (25)$$

Avec: Coefficient de tension $C_V = 8 \text{ V}^{-1}$, Coefficient de température $C_T = 0.05 \text{ K}^{-1}$, Courant normalisé de gazéification $I_0 = 0.035 \text{ A}$, Tension nominale $V_b = 12 \text{ V}$
Taux de capacité de la batterie au de dix heures de décharge (capacité nominale) $C_{10} = 125 \text{ Ah}$.

4) Modèle de la tension

La tension est caractérisée par deux processus, la tension de charge et la tension de décharge de la batterie. Pour les distinguer nous utiliserons le C comme indice de charge et D pour la décharge:

Charge: $I_b > 0$:

La tension de charge de la batterie est décrite par l'équation suivante :

$$V_b(t) = E_b(t) - R_{0,c} \cdot I_b \quad (26)$$

Avec: $R_{0,c} = 75 \text{ m } \Omega$ la résistance interne de chargement (Ω).

La tension interne de la batterie $E_b(t)$ elle est décrite par :

$$E_b(t) = E_{0,c} + A_c \cdot X(t) + \frac{C_c \cdot X(t)}{(D_c - X(t)) \cdot E \cdot F} \quad (27)$$

$E_{0,c} = 11.6 \text{ V}$: Limite de la tension interne de batterie pour un courant nul et la batterie complètement déchargée ;
 $X(t)$: capacité maximum normalisée de charge/décharge.

$$X(t) = \frac{C_{m,c}}{C_m(I_b(t))} \cdot C_b(t) \quad (28)$$

$Q_{m,d} = 130 \text{ Ah}$: Capacité maximale de décharge (Ah)

$$C_m(I_b(t)) = D_1 \cdot I_b^2(t) + D_2 \cdot I_b(t) + D_3 + D_4 \quad (29)$$

Les coefficients $D_1 = -0.0006 \text{ h/A}^2$,

$D_2 = 0.0543 \text{ h/A}$, $D_3 = -2.0279 \text{ h}$, $D_4 = 140.29 \text{ Ah}$

Décharge: $I_b < 0$

La tension de décharge de la batterie est décrite par l'équation suivante :

$$V_b(t) = E_b(t) - R_{0,d} \cdot I_b \quad (30)$$

Avec: $R_{0,d} = 38 \text{ m } \Omega$: Résistance interne de déchargement (Ω).

La tension interne de la batterie $E_b(t)$ elle est décrite par

$$E_b(t) = E_{0,d} + A_d \cdot X(t) + \frac{C_d \cdot X(t)}{(D_d - X(t)) \cdot E \cdot F} \quad (31)$$

$E_{0,d} = 12.6 \text{ V}$: Limite de la tension interne de batterie pour un courant nul et la batterie complètement chargée.

$$X(t) = \frac{C_{m,d}(C_{m,d} - C_b(t))}{C_m(I_b(t))} \quad (32)$$

IV. Modélisation de la régulation

Le régulateur dans un système PV a deux rôles ; commande du fonctionnement du système (sélection du mode) et la protection de la batterie. La régulation de charge/décharge est la fonction primordiale pour une batterie d'accumulation dans un système photovoltaïque. Cette fonction peut être basée sur la tension de la batterie, où le régulateur doit limiter cette tension entre deux seuils, afin d'éviter les effets indésirables de la surcharge et la décharge profonde.

V. Analyses et Résultats

A. Caractéristique courant tension du panneau photovoltaïque

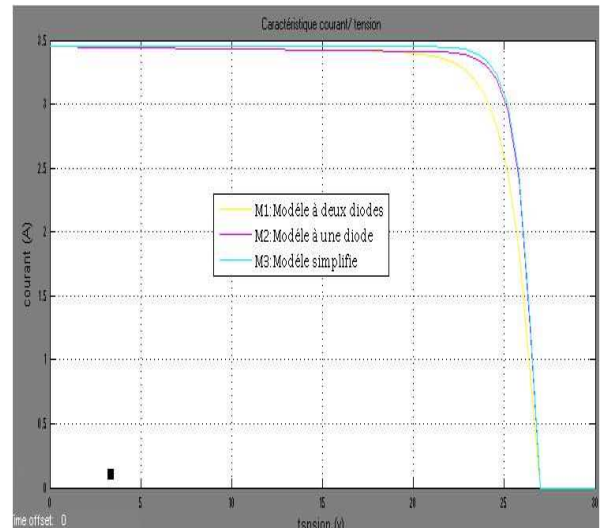


Fig. 5 Caractéristique courant tension

Pour le modèle simplifié (M3), le courant reste inchangé durant le premier régime et c'est à cette raison que ce modèle est parfois appelé modèle idéal lorsque le générateur se comporte dans ce cas comme une source idéale de courant, l'introduction de la résistance shunt (R_{sh}) dans le modèle à une diode (M2) donne un courant de

fonctionnement meilleur que celui des modèles simplifiés au coude de fonctionnement, la caractéristique donnée par le modèle à deux diodes (M1) est différente aux autres caractéristiques et plus proche à celle d'un générateurs (mesurée aux laboratoires). Donc, et dans tout ce qui suit, le modèle tenu pour la modélisation du générateur dans ce travail c'est le modèle à deux diodes, qui a donné comme le montre la figure (Fig.5) le résultat le plus physique.

B. Comportement du batterie

À partir des équations (26 et 30) la tension d'une batterie et son état de charge varient en fonction du courant incident, c'est pour cela qu'on va varier le courant (I_b) entre différentes valeurs (positives et négatives) afin de pouvoir visualiser le comportement dans les deux cas de la charge et la décharge.

Pour le processus de la décharge, on observe un comportement à peu de choses près identique sauf qu'il semblerait présentait un petit changement dans la forme de l'allure de la courbe. Ceci pourrait s'expliquer par le phénomène d'hystérésis présent dans la batterie. L'état de charge de la batterie (SOC) varie entre 60 et 100 %, la gamme de fonctionnement recommandée. Quand l'état de charge de la batterie atteint 60%, on dit qu'elle est déchargée et nécessite une recharge avant la remise en fonctionnement.

1) Comportement en décharge ($I_b < 0$)

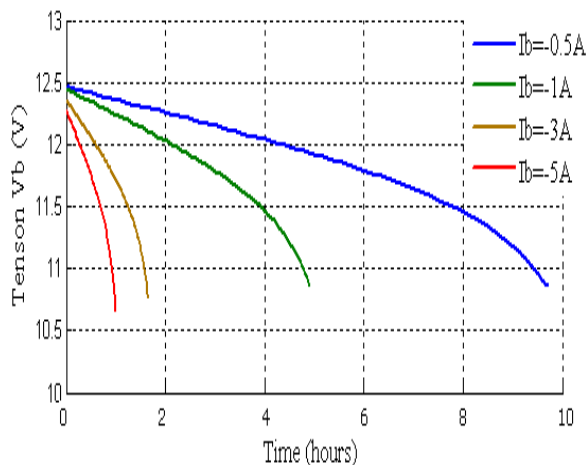


Fig. 6 Tension d'une batterie pour différentes valeurs du courant de décharge ($T=25^\circ\text{C}$)

La figure (Fig.6) montre l'importante influence du courant de décharge sur la tension d'une batterie, elle décroît proportionnellement avec ce courant de décharge. Quand le courant de décharge est faible

(-0.5 A), la tension à la fin de décharge atteint une valeur proche à celle nominale, après une durée importante (environ 10 heures). Quand le courant de décharge est élevé (-5 A), la tension de la batterie atteint rapidement (1.5 heures) des

valeurs trop faible par rapport à la tension nominale.

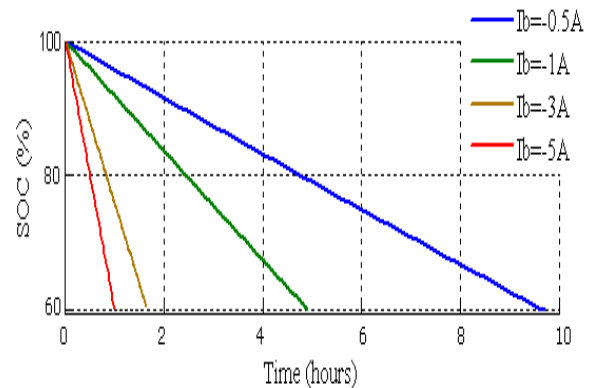


Fig. 7 Etat de charge d'une batterie pour différentes valeurs du courant de décharge ($T=25^\circ\text{C}$)

La figure (Fig.7) montre l'autre influence du courant de décharge sur l'état de charge de la batterie. Quand le courant de décharge est élevé (-5 A), la batterie se décharge rapidement (une heure) et nécessite une recharge, et quand ce courant est faible (-0.5 A) la batterie se décharge pendant une importante durée (10 heures). Ceci montre l'importance de l'assemblage en série de plusieurs batterie, en vu d'avoir un courant important pendant une durée optimale.

2) Comportement en charge ($I_b > 0$)

Les figures (Fig. 8 et 9) montrent bien l'effet de l'importance du courant sur le temps de chargement de la batterie. On observe aussi que lorsque le courant est faible, la tension finale de charge est relativement faible est qu'elle n'atteint pas sa valeur nominale. Les courbes montrent aussi l'effet de la capacité initiale de la batterie.

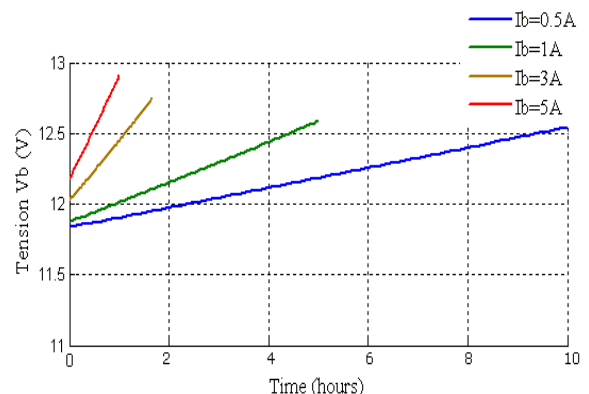


Fig.8 Tension de charge d'une batterie pour différentes valeurs du courant de charge ($T=25^\circ\text{C}$)

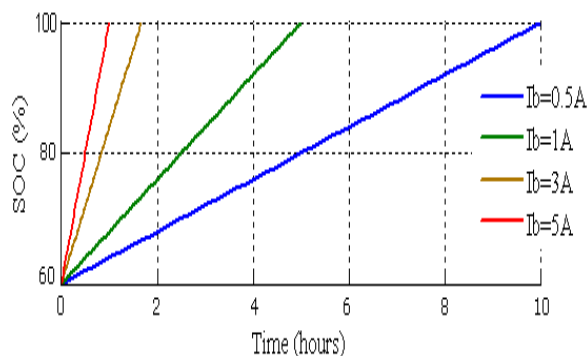


Fig. 9 Etat de charge d'une batterie pour différentes valeurs du courant de charge ($T=25^{\circ}C$)

3) comportement du régulateur :

Le modèle du régulateur dans cette simulation, est chargé de la protection de la batterie et la gérance du fonctionnement du système complet. Le programme développé, donne des résultats dans le cadre des tâches de ce composant ; mettre la batterie en charge ou décharge selon son état de charge, et changer le mode de fonctionnement selon l'état du système.

VI. CONCLUSION

Le but de ce papier est de modéliser et simuler un système photovoltaïque autonome, Pour le générateur PV, nous avons présenté les trois différents modèles offerts dans la littérature et les programmes développés pour chaque modèle. La comparaison entre les résultats de ces trois modèles permet d'extraire que le modèle à deux diodes est le plus adapté, Ce modèle présente un comportement similaire à ce donné par le constructeur.

Pour la batterie. Le choix dans cette étude, est un modèle conforme aux applications photovoltaïques, et qui donne la tension et l'état de charge d'une batterie au plomb de 12 V. Le programme développé pour ce modèle, donne des résultats en tension et état de charge, adéquats à ceux mesurés au laboratoire fournis par le constructeur. Donc on peut dire que c'est un modèle conforme aux applications photovoltaïques.

Le modèle du régulateur dans cette étude, est chargé de la protection de la batterie et la gérance du fonctionnement du système complet. Le programme développé, donne des résultats dans le cadre des tâches de ce composant ; mettre la batterie en charge ou décharge selon son état de charge, et changer le mode de fonctionnement selon l'état du système.

Finalement, et par l'association des trois programmes développés, on a arrivé un programme qui modélise un système photovoltaïque autonome, qui comprend un panneau solaire, une batterie et un régulateur. Les résultats de ce programme, montre bien le comportement et les différents états que peut prendre un système PV.

REFERENCES

- [1] T. Mrabti, M. El Ouariachi, K. Kassmi, F. Olivie and F. Bagui, 'Amélioration du Fonctionnement des Systèmes Photovoltaïques suite aux Brusques Variations des Conditions Météorologiques et de la Charge', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 11, N°1, pp. 107 - 117, 2008.
- [2] T. Mrabti, M. El Ouariachi, K. Kassmi, Ka. Kassmi, F. Olivie, F. Bagui, 'Conception, Modélisation et Réalisation d'un Système Photovoltaïque pour une Meilleure Exploitation de l'Energie Solaire', Maîtrise et Management des Risques Industriels, 'M2RI'08', Oujda, Maroc, 24 et 25 Avril 2008.
- [3] M. Makhlof 'Modeling and Simulation of Grid-connected Hybrid Photovoltaic/Battery Distributed Generation System' Canadian Journal on Electrical and Electronics Engineering Vol. 3, No. 1, January 2012.
- [4] D.Turcotte, M.Ross and F.Sheriff. « Photovoltaic hybrid System Sizing and Simulation Tools» PV Horizon, Canada, 2001.
- [5] Jones.C, P.Underwood, « A modeling method for building-integrated PV systems», Solar Energy 70 (4):349-359.2002.
- [6] Huan-Liang Tsai, Ci-Siang Tu, and Yi-Jie Su «Development of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK», Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science WCECS, San Francisco, USA October 22 - 24, 2008.
- [7] K. Kassmi, M. Hamdaoui et F. Olivie, 'Conception, Optimisation et Réalisation des Systèmes Photovoltaïques pour une Meilleure Exploitation de l'Energie Solaire', Maîtrise de l'Energie dans la Construction et la Rénovation des Bâtiments, Centre d'Etudes Supérieures Industrielles, 'CESI', Rouen, France, 8 Novembre 2007.
- [8] N. Achaïbou « Introduction à l'Etude de Stockage dans un Système Photovoltaïque », Revue des Energies Renouvelables, valorisation (1999) 1-6.