Gestion du transfert d'énergie dans un système hybride autonome à base des modules photovoltaïque.

Daoud Rezzak*[1], Abdelkader Sitayeb[1], Yahia Houam[1], Khaled Touafek [1], Nasserdine Boudjerda[2]

[1] *Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,URAER, Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, 47133, Ghardaïa, Algeria*

[2] *University of Jijel, Department of Electrical Engineering, P.O. Box 98 Ouled Aissa Jijel 18000, Algeria*

* *d-rezzak@hotmail.fr*

***Abstract*— Ce papier traite le problème de la gestion d'énergie dans les systèmes photovoltaïques autonome, un nouveau désigne a été présenté, en se basant sur un convertisseur buck-boost bidirectionnel en courant avec l'utilisation d'un système de contrôle du flux énergétique qui est fondé sur l'MPPT, des régulateurs Proportionnels-Intégrales ainsi sur des lois de commandes par états, pour un fonctionnement meilleur et durable du système hybride autonome.**

***Keywords*— Photovoltaïques ; Batteries ; Convertisseurs Buck-Boost.**

I. INTRODUCTION

Dans ces dernières années on entend par énergie renouvelable, toute énergie issue du soleil, du vent, de la chaleur de la terre, de l'eau ou encore de la biomasse. Les sources d'énergies renouvelables ont l'avantage d'être gratuites et inépuisables mais présentent une intermittence qui pose des problèmes d'approvisionnement en particulier pour les sites isolés du réseau de distribution électrique. L'Algérie qui a une superficie supérieure à 2 million km² contient de nombreux sites isolés et éloignés du réseau électrique, qui sont alimentés par des systèmes autonomes de génération d'électricité. Ces générateurs utilisent les sources renouvelables locales. L'Algérie dispose d'un gisement riche en énergie solaire, pour cela des panneaux photovoltaïques sont utilisés comme source renouvelable. L'intermittence de cette dernière nécessite l'utilisation d'un dispositif de stockage de l'énergie électrique, Les batteries de type Plomb−Acide sont souvent utilisées dans ce genre d'applications, car elles ont une forte densité d'énergie (fourniture d'une quantité d'énergie constante pendant une longue durée) et un faible coût. En effet l'association des batteries de type Plomb−Acide avec les systèmes photovoltaïque (PV), permit d'assurer la disponibilité de l'énergie électrique durant toute la nuit et même lorsqu'on a des jours avec un faible ensoleillement. Cependant un autre défit s'impose qui consiste à bien choisir la structure du raccordement du système hybride (PV−Batterie), dans la littérature [1, 2, 3] on peut distinguer deux structures différentes :

- La structure directe : qui consiste à associer la batterie directement avec le Bus continu [1].
- La structure indirecte : consiste à associer un convertisseur DC/DC bidirectionnel en courant avec le Bus continu [1].

Dans cet article nous avons choisi la structure indirecte afin d'être l'objet de notre travail. Dans cette dernière le convertisseur DC/DC bidirectionnel en courant représente l'élément le plus important, car il nous permet une très bonne maitrise de la gestion du flux d'énergie échangée entre les sources hybrides autonome (PV−Batterie) et la charge, pour cela nous avons consacré notre travail dans un premier temps à modéliser sous le logicielle Matlab/Simulink les sources d'énergie qui constituent notre système. Après nous avons proposé un algorithme de contrôle et de gestion d'énergie qui nous a permis un fonctionnement automatique, seine et autonome de notre système hybride. A la fin de cet article nous avons illustré quelques résultats de simulation sous le logiciel (MATLAB/SIMULINK) du tous le système hybride autonome à base des modules photovoltaïques, ces dernières montre l'efficacité et les performances de l'algorithme de gestion de l'énergie proposé dans cet article.

II. SYSTEME HYBRIDE AUTONOME

Le système hybride autonome à base des modules photovoltaïques simulé dans notre article est représenté dans la figure (1) [4] il se compose de :

Huit modules photovoltaïques insérés en parallèles, ces derniers sont connectés en série avec un convertisseur CC/CC de type Boost, commandé en Modulation de la largeur d'impulsion en utilisant la technique de l'MPPT afin d'extraire la puissance maximale qui peuvent être délivrée par les modules et qui varie en fonction de changement du rayonnement solaire.

De deux packs de batteries plomb acide (12V, 100 A/h) de type AGEL associer en série et qui sont raccordées à un convertisseur DC/DC bidirectionnel en courant.

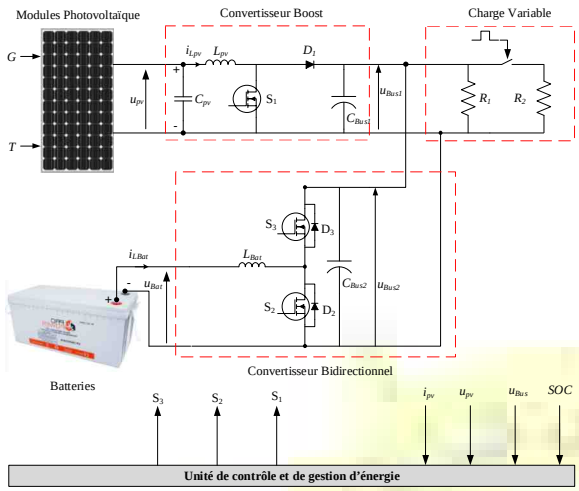


Fig. 1 Système hybride autonome à base des modules photovoltaïques.

Ce dernier a deux modes de fonctionnement :

Le mode de fonctionnement Boost ou (mode de décharge des batteries) : Dans ce dernier, nous cherchons que la tension du bus continu soit bien réglée à une valeur égale à 40 V, en utilisant des contrôleurs P-I, en cherche aussi une seine décharge des batteries plomb acide et une protection de tous les composants du convertisseur Buck-Boost contre les surtensions et les surintensités.

Le mode de fonctionnement Buck ou (mode de charge des batteries) : Dans ce dernier, le convertisseur Buck assure le transfert d'énergie fournie par les modules photovoltaïques aux batteries Plomb Acide, en plus il limite le courant de charge des batteries à (C/5=20A), ce dernier objectif est abouti par l'utilisation d'un contrôleur à hystérésis.

En outre, nous avons utilisé deux résistances en parallèles commandé par un interrupteur pour simuler une variation brusque du courant électrique de la charge.

L'ensemble du système hybride autonome est géré par une unité de contrôle et de gestion d'énergie afin d'assurer un fonctionnement automatique et fiable de tous les éléments qui constituent notre système.

Les paramètres que nous avons utilisés dans la simulation du système hybride autonome à base des modules photovoltaïques sont donnés dans le tableau suivant :

TABLE I: Paramètres du système hybride autonome.

Description	*paramètre*	*valeur*
Capacité PV	C_{pv}	1500 µF
Inductance PV	L_{pv}	550 µH
Inductance batteries	L_{bat}	880 µH
Capacités des sorties	C_{bus1}, C_{bus2}	1200 µF
résistances	R_1, R_2	21Ω, 6Ω

III. MODELE DES CELLULES PHOTOVOLTAÏQUES:

Une cellule photovoltaïque a un comportement équivalent à une source de courant shuntée par une diode Fig.2 [5].

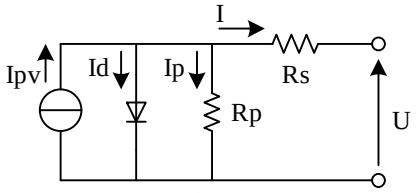


Fig. 2 Schéma électrique équivalent à une diode d'une cellule photovoltaïque.

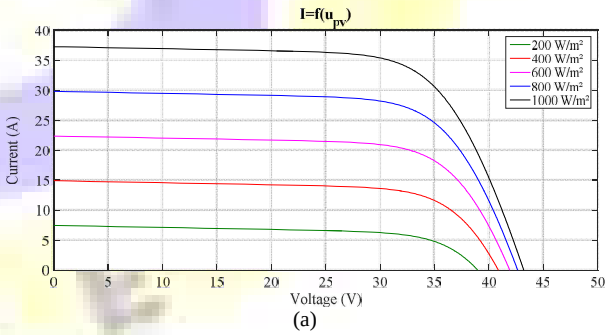
Dans le modèle à « une seule diode » d'une photopile Fig.2 la résistance série R_s est due à la contribution des résistances de base et du front de la jonction et des contacts en face avant et arrière. La résistance shunt R_p est une conséquence de l'état de surface le long de la périphérie de la cellule ; elle est réduite à la suite de pénétration des impuretés métalliques ou des prises de contact sur la face diffusée de la cellule. La caractéristique courant-tension I-U d'une photopile réelle est dérivée de l'équation (1) [5] :

$$I = I_{pv} - I_d - I_p \qquad (1)$$

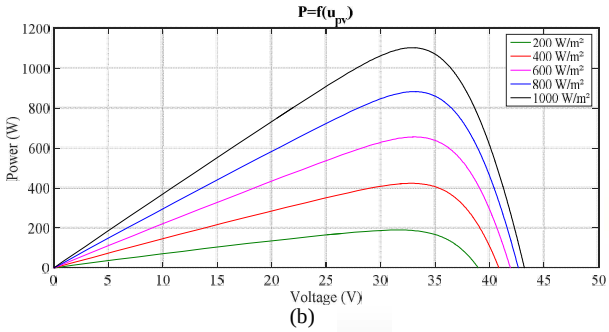
Où :

- I_{pv} est le photo-courant de la cellule, proportionnel à l'éclairement G,
- I_d est le courant de diode,
- I_p est le courant dérivé par la résistance shunt,

La simulation sous Matlab/Simulink des 8 modules photovoltaïques mises en parallèles N_{par}=8 avec N_{ser}=1 et donnent les résultats suivantes (Fig.3.a) et (Fig.3.b) [5].



(a)



(b)

Fig. 3 Courant et puissance de 8 modules photovoltaïques mit en parallèles en fonction de la tension.

IV. MODELE DES BATTERIES :

Le **bloc « Battery »** du MATLAB/SIMULINK Figure (4) présente un modèle générique et dynamique [6] servant à représenter les batteries les plus couramment utilisées (Plomb-acide, Lithium-Ion, Nickel-cadmium, et Nickel-Métal-Hydrure). Les paramètres du modèle sont déduits des caractéristiques de décharge et sont supposés être les mêmes pour la charge, ils sont extraits de la fiche de données utilisée d'un fabricant (exemple : GetPower from its GP 12-100 model).

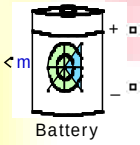


Fig. 4 Bloc de la batterie sous Matlab/Simulink.

Le type de la batterie choisi sous Simulink est plomb-acide (Lead-Acid).

Les paramètres de la batterie du bloc Simulink ci-dessus sont les suivants :

Tension nominale : 24 V.
Capacité nominale : 100 Ah.
État de charge initial (Soc) : 30 %.

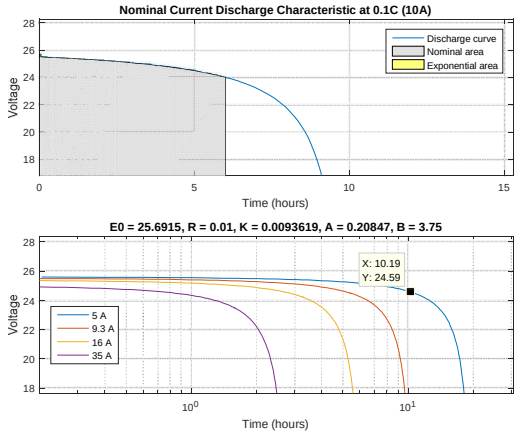


Fig. 5 Courbes des caractéristiques de décharge des batteries GP 12-100 GetPower en utilisant le modèle lead acide batterie.

V. UNITE DE GESTION ET DE CONTROLE DU SYSTEME HYBRIDE A BASE DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES :

L'unité de gestion et de contrôle d'un système hybride représente le cerveau qui nous permet grâce à des mesures comme (le rayonnement solaire, le courant récupéré ou restitué par les batteries, l'état de charge des batteries (SOC), la tension du Bus continu, le courant et la tension des modules photovoltaïques) et un algorithme de gestion d'énergie et de supervision de générer les signaux de commandes (S1, S2 et S3) figure (1).

L'algorithme de gestion d'énergie que nous avons proposé dans cet article est celui que nous avons schématisé par la figure (6).

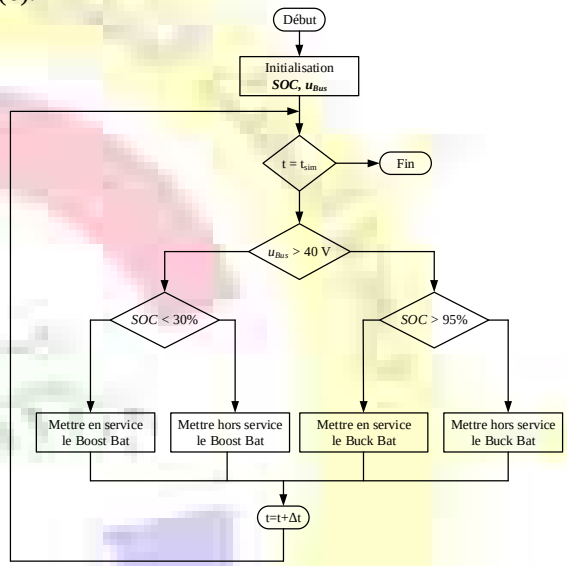


Fig. 6 Algorithme de gestion et de contrôle du système hybride.

L'algorithme de gestion d'énergie commence par l'initialisation des grandeurs mesurées (u_{bus}, SOC, i_{pv}, u_{pv}), après il vérifie le temps de fin de simulation, si $t=t_{sim}$ la simulation est terminée, sinon, il passe à l'étape suivante qui consiste à vérifier la tension de Bus continu, si cette dernière est supérieure à 40V c'est le convertisseur Boost associé avec les modules photovoltaïques qui fournit l'énergie au système hybride autonome. Dans cette étape l'algorithme vérifie et actualise à chaque instant l'état de charge des batteries (SOC), si elle est inférieure à 95 % le convertisseur associé avec les batteries rentre en service en mode de fonctionnement Buck et charge les batteries à son courant maximale qui est égale à 20A, sinon le convertisseur Buck est mis hors service et le convertisseur boost se contenté à fournir l'énergie électrique aux charges résistives seulement.

Si la tension de bus continu est inférieure à 40 V le convertisseur boost associé avec les modules PV est mis hors

service. Dans ce cas, c'est le convertisseur associé avec les batteries qui prend le relais en mode de fonctionnement boost et la tension du bus continu est asservie à une valeur égale à 40 V par un contrôleur P-I classiques. Afin de protéger les batteries contre les décharges profondes le SOC de ces dernières est vérifiée est vérifiée et actualisée à chaque instant, si il est supérieur à 30 % le convertisseur boost est en service sinon le système est en standby jusqu'à que la tension du Bus continu soit supérieur à 40 V.

VI. RESULTATS DE LA SIMULATION :

Les résultats de la simulation ont été aboutis, en utilisant des batteries plomb acide initialement chargées à 35%, la variation de la charge est faite par deux charges résistives R1=21Ω, R2=6Ω, avec une variation imaginaire du rayonnement solaire figure (6) sur 3s afin d'évité des longues simulations qui génèrent des problèmes de saturation de mémoire dans les logicielles de calcules (Matlab/Simulink dans notre cas).

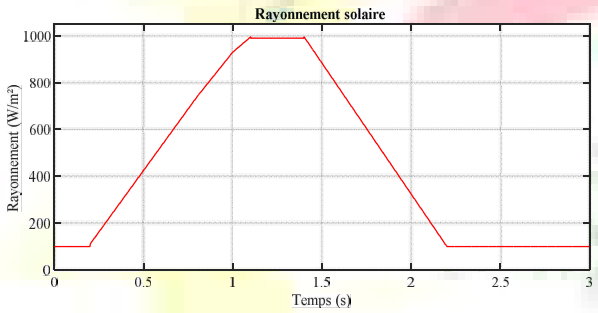


Fig. 7 Variation du rayonnement solaire.

La figure (7) représente la variation du rayonnement solaire que nous avons utilisé pour tester l'algorithme proposé, il commence par une valeur réduite égale 100 W/m² jusqu' à 0.2 s, après il augmente à une valeur égale à 1000 W/m² à l'instant t=1.2s, puis il se stabilise à cette dernière jusqu'à t=1.4s, ensuite il diminue linéairement à 100 W/m² à l'instant t=2.2 s et tient cette valeur jusqu'à la fin de la simulation.

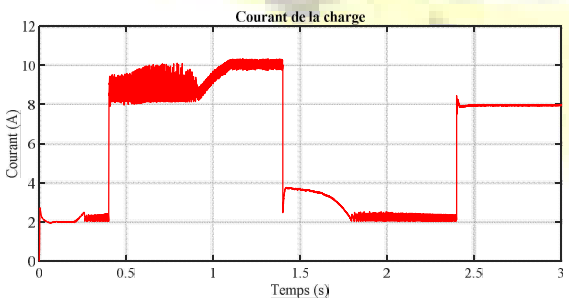


Fig. 8 Variation du courant de la charge.

La figure (8) montre la variation du curant au niveau des résistances R_1 et R_2.

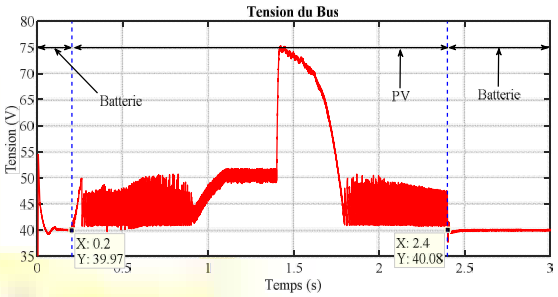


Fig. 9 Variation de la tension de Bus continu.

La figure (9) représente la tension du Buse continu, on voie bien que lorsque t<0.2s et t>2.4s la tension est bien réglée à 40 V donc le convertisseur associé avec les batteries qui fonctionne en mode Boost et c'est les batteries plomb acide qui alimentent les charges résistives. Dans le reste du temps de simulation entre 0.2s et 2.4s c'est le convertisseur Boost associé avec les modules PV qui fonctionne en MPPT, il alimente les charges résistives et recharge les batteries en même temps suivent le SOC de cette dernière. Nous observons aussi que la tension du Bus continu non contrôlée est perturbée par l'évolution du rayonnement solaire et aussi par les fortes fluctuations du courant au niveau du bus continu qui sont provoqués par la variation du courant au niveau des charges résistives en plus le courant de la recharge des batteries.

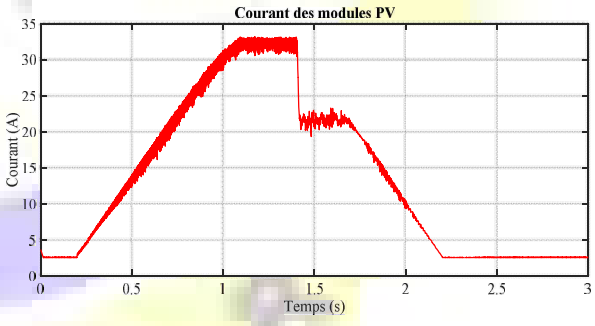


Fig. 10 Variation du courant des modules photovoltaïques.

La figure (10) montre le courant à la sortie des modules PV, on remarque que lorsque le rayonnement solaire est faible le courant est faible. On peut aussi constater que ce dernier augment au fur et à mesure que le rayonnement solaire augmente jusqu'à qu'il atteint son maximum à 1000W/m². On aperçoit aussi que le courant à la sortie du système PV a une grande relation avec le courant de la charge lorsque ce dernier diminue le courant du système PV diminue aussi et même chose se produira dans le sens contraire, ce qui signifie que la commande MPPT fonctionne très bien.

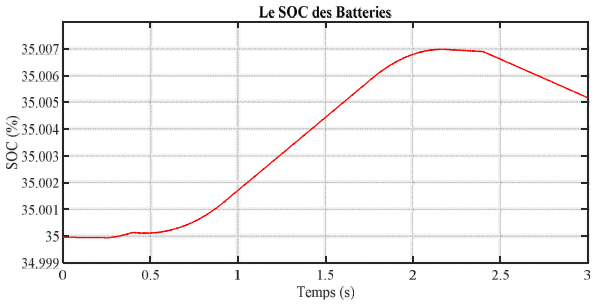


Fig. 11 Variation du courant des modules photovoltaïques.

La figure (11) montre l'état de charge des batteries, on voit bien que lorsque le buck-boost fonctionne en mode boost les batteries se déchargent et lorsqu'il fonctionne en mode Buck les batteries se rechargent.

VII. CONCLUSION :

Dans cet article nous avons traité le problème de la gestion d'énergie pour un système hybride (PVs-Batteries) autonomes, premièrement nous avons modélisé les éléments qui composent le système hybride (PVs, batteries, convertisseurs d'électroniques de puissances). Deuxièmement nous avons proposé une commande basée sur le contrôle indirecte du convertisseur buck-boost associé avec les batteries pour une meilleure gestion d'énergie entre les deux sources hybride. Finalement nous avons illustré des résultats de simulation sous Matlab-Simulink de tout le système afin de montrer les performances de la commande proposée. Nous pouvant conclure que la commande proposé est très performante et elle nous permet une très bonne gestion d'énergie entre les deux sources, toutes en respectant les contraintes imposés par le système (Courant maximale de recharge des batteries, Tension et SOC minimales et maximales des batteries…etc.) et en tirant le maximum de la puissance fournie par le système PVs.

REFERENCES

[1] Jean-Louis Bal. Electronique de puissance Structures, commandes, applications. Dunod 10eme edition, 2015.

[2] Alaa HIJAZI. Modélisation électrothermique, commande et dimensionnement d'un système de stockage d'énergie par supercondensateurs avec prise en compte de son vieillissement : application à la récupération de l'énergie de freinage d'un trolleybus. PhD thesis. University of Claude Bernard, Lyon 1, France 2010.

[3] Mark Hankins. Stand-Alone Solar Electric Systems. Washington, DC, London, 2010.

[4] Dragicevic, Tomislav; Guerrero, Josep M.; Quintero, Juan Carlos Vasquez; Skrlec, Davor. Supervisory Control of an Adaptive-Droop Regulated DC Microgrid with Battery Management Capability. IEEE Transactions on Power Electronics, Volume: 29, Issue 2, Feb. 2014.

[5] M. G. Villalva, J. R. Gazoli, E. Ruppert F. Modeling and Circuit-Based Simulation of Photovoltaic Arrays. Brazilian Journal of Power Electronics, Vol. 14, No. 1, pp. 35-45, 2009.

[6] Souleman Njoya Motapon, Louis-A. Dessaint And Kamal Al-Haddad, A Comparative Study Of Energy Management Schemes For A Fuel-Cell Hybrid Emergency Power System Of More-Electric Aircraft. IEEE Transactions On Industrial Electronics, Vol. 61, No. 3, March 2014.