

# Gestion d'énergie d'un Système Hybride Eolien-Photovoltaïque

<sup>1</sup>Rabah ROUAS, <sup>2</sup>Madjid SI BRAHIM, <sup>3</sup>Salah HADDAD

Laboratoire LATAGE, Université Mouloud MAMMERI, Tizi-Ouzou

<sup>1</sup>[rouas\\_rabah@hotmail.fr](mailto:rouas_rabah@hotmail.fr), <sup>2</sup>[madjid\\_sib@yahoo.fr](mailto:madjid_sib@yahoo.fr), <sup>3</sup>[hddsalah@yahoo.fr](mailto:hddsalah@yahoo.fr)

**RESUME** - Dans cet article, nous avons développé un dispositif capable d'alimenter continuellement en énergie électrique des zones isolées dont le raccordement au réseau est très coûteux et non rentable. Ceci est réalisable par la mise au point d'un système hybride combinant une éolienne et des panneaux photovoltaïques comme sources principales, des batteries de stockage ainsi qu'un générateur diesel comme sources de secours. La combinaison de ces sources d'énergies sert à pallier à la discontinuité de l'alimentation, si ces dites sources venaient à opérer chacune individuellement. Cette discontinuité est due aux caractères aléatoires ainsi qu'à la dépendance des conditions météorologiques et climatiques de ces sources. Pour ce faire, nous avons dimensionné chaque source du système hybride de façon à ce qu'elle puisse satisfaire seule dans les conditions les plus favorables la charge maximale demandée. Par la suite, nous avons modélisé chacune des chaînes de conversion d'énergie et nous avons développé les lois de commande en puissance assurant de bonnes performances de suivi de consignes. Finalement, nous avons mis en œuvre un algorithme de gestion hiérarchisé d'énergie pour déterminer les modes de fonctionnement des sources du système hybride dans le but de produire autant de puissance que celle demandée par la charge, et cela en sollicitant en priorité les sources d'énergie renouvelable et en épargnant autant que possible le système de stockage et le générateur diesel.

**Mots-clés**— Système hybride autonome, panneaux photovoltaïques, éolienne, batteries de stockage, générateur asynchrone auto-excitée, commande directe de puissance DPC, redresseur à MLI, algorithme de gestion d'énergie.

## 1. INTRODUCTION

Dans le monde entier les chercheurs incitent à changer la vision ancienne pour la production d'électricité, ils appellent à l'utilisation des ressources d'énergies renouvelables, particulièrement l'énergie solaire et l'énergie éolienne. Dans ce contexte, ces énergies sont appelées à remplacer les autres ressources fossiles afin de répondre aux exigences actuelles [1-6]. En effet, leur utilisation est une solution inépuisable, non polluante et bien adaptée à la production décentralisée.

L'objectif du présent travail est la commande et la gestion d'énergie d'un système hybride éolien-photovoltaïque. Pour ce faire, dans un premier temps, nous présenterons le système global hybride à étudier. Par la suite, nous proposerons une stratégie de gestion d'énergie qui délivrera des références de puissance pour chacune des sources (éolien, photovoltaïque, batterie et le générateur diesel) dans le but d'assurer d'une façon optimale, une alimentation sans interruption de la

charge. La charge dans notre cas représentée par une résistance variable.

Ensuite, pour valider en simulation cette stratégie de gestion, nous considérons quelques scénarii de simulation que le système hybride est amené à rencontrer.

## 2. PRESENTATION DU SYSTEME GLOBAL

Le système hybride que nous proposerons dans cet article comblera deux sources d'énergie renouvelable, à savoir un générateur photovoltaïque pour convertir l'énergie du soleil et un générateur éolien pour convertir celle du vent [7-12]. Ce système hybride éolien-photovoltaïque servira d'alimentation en énergie électrique les zones isolées dont le raccordement au réseau est très coûteux et non rentable. En cas d'absence de soleil et de vent, des batteries de stockage et un générateur diesel seront prévus pour l'alimentation de secours.

Ces sources d'énergie sont reliées à un même bus continu par l'intermédiaire des convertisseurs, qui ont pour rôle d'assurer la commande en puissance et assurer une tension du bus continu constante et ce en dépit des variations de la charge.[13-18]

Ce système global est illustré dans la figure (1) suivante :

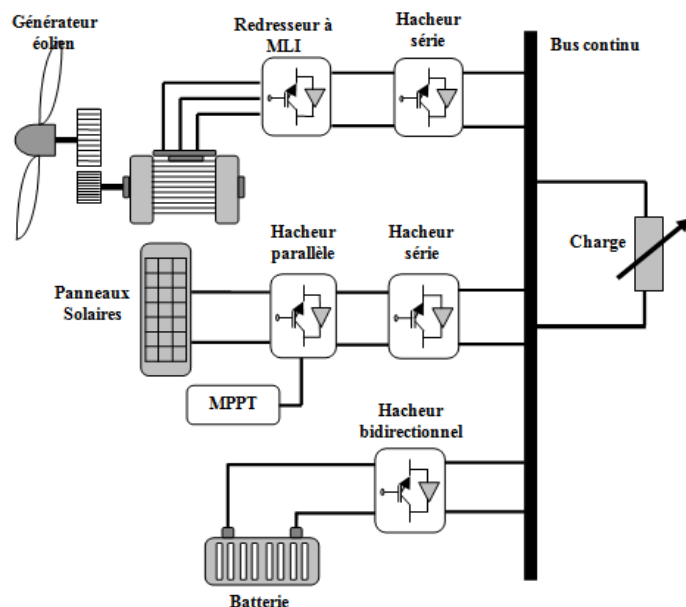


Fig. 1. Schéma du système global à énergies renouvelables.

La chaîne de conversion éolienne est composée des éléments suivants :

- Une génératrice asynchrone de puissance 3kW auto-excitée par un banc triphasé de condensateurs, permettant la conversion de l'énergie du vent en une énergie électrique. A noter que la génératrice peut fournir un tiers de sa puissance maximale dans les conditions optimales.
- Un redresseur MLI muni d'une commande (DPC) qui permet de faire suivre à la génératrice asynchrone une référence de puissance active donnée tout en maintenant une tension en sortie du redresseur constante.
- Un hacheur série DC/DC muni d'une régulation, permettant d'avoir une tension désirée afin de le raccorder au bus continu.

La chaîne de conversion photovoltaïque est constituée comme suit :

- Une association de cinq (5) panneaux solaires ayant chacun une puissance de 60 W, permettant la conversion de l'énergie solaire en une énergie électrique. Pour optimiser les conditions de fonctionnement de l'ensemble de ces panneaux, ces derniers sont connectés à un convertisseur DC/DC (hacheur élévateur) muni d'une commande MPPT.
- Un hacheur série DC/DC muni d'une régulation, permettant d'avoir une tension désirée afin de le raccorder au bus continu.

Les éléments de la chaîne de stockage sont :

- Une batterie de type LITHIUM-ION que nous avons initialement chargée.
- Un convertisseur DC/DC bidirectionnel qui permet la charge et la décharge de la batterie.

### 3. STRATEGIES DE GESTION DU SYSTEME HYBRIDE

L'objectif principal de la stratégie de gestion proposée dans cet article est de générer des références de puissance pour chacune des sources (éolien, photovoltaïque, batterie et le générateur diesel) dans le but d'assurer d'une façon optimale, une alimentation sans interruption de la charge. Pour cela nous avons proposé un algorithme pour gérer les flux de puissances entre les différentes sources. Il est à base de règle logique "tout ou rien", avec objectif d'activer ou non les sources selon l'évolution de l'état du système hybride. La figure (2) illustre le rôle de cet algorithme qui se situe au cœur du système hybride.

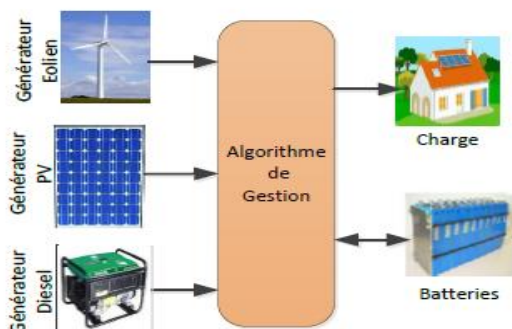


Fig. 2. Schéma de principe de la stratégie de gestion.

L'objectif de l'algorithme de gestion est en fait, de déterminer les points de fonctionnement des sources du système hybride, dans le but de produire autant de puissance que celle demandée par la charge, et cela en sollicitant en priorité les sources d'énergie renouvelable et en épargnant autant que possible le système de stockage et le générateur diesel. Une autre tâche que l'algorithme de gestion doit remplir consiste à exploiter d'une façon optimale la batterie de stockage dans le but de rallonger sa durée de vie. En effet, une bonne estimation de son état de charge/décharge (SoC) est nécessaire. Il est évident que pour préserver la batterie, il faut réduire sa sollicitation et ainsi favoriser l'énergie provenant des sources renouvelables. En outre, dans les situations critiques où les sources renouvelables ne suffisent pas et que le SoC de la batterie est trop faible, le générateur diesel doit se mettre en marche afin de venir au secours du système hybride et alimenter la charge.

### 4. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE L'ALGORITHME DE GESTION

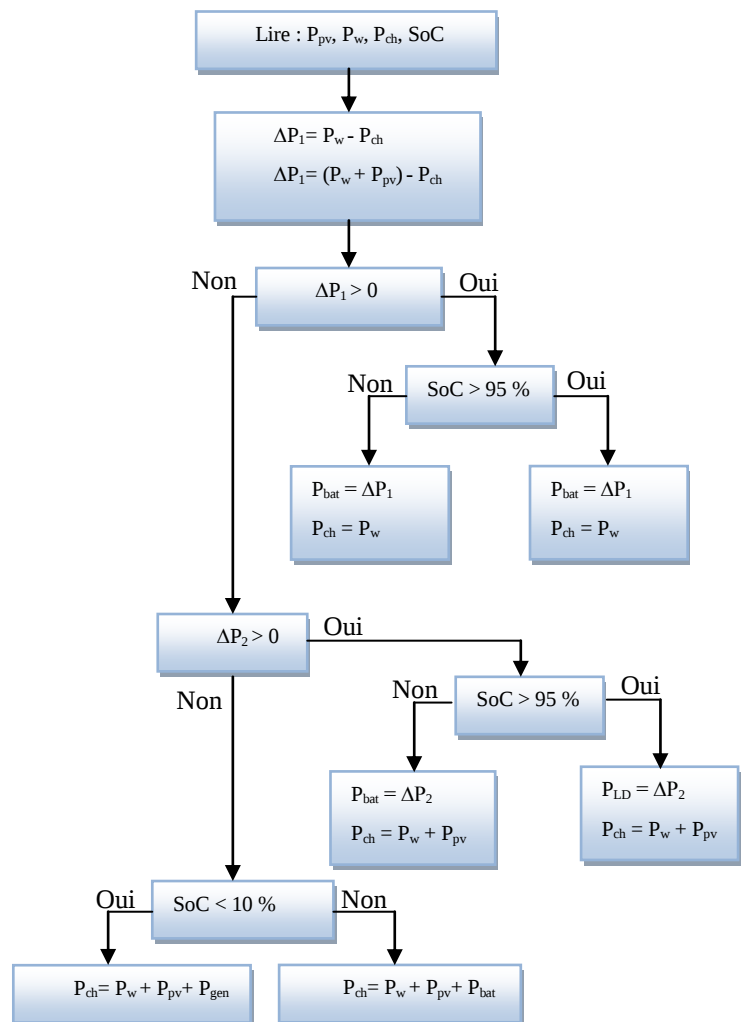


Fig. 3. Organigramme de gestion d'énergie.

La stratégie de gestion que nous avons développée est à base de règles logiques Si...alors. Cette stratégie considère le système de conversion éolien comme étant la source principale pour alimenter la charge. Le système de conversion photovoltaïque est activé dans le cas où le premier ne répond pas à la demande de la charge. La batterie est utilisée à la fois comme source dans le cas d'un manque de production, et

comme système de stockage dans le cas d'une surproduction. Le générateur Diesel est considéré comme ultime recours. Du fait que les deux sources de production énergétique opèrent en mode MPPT, et que le système hybride est isolé, nous avons prévu une charge dissipative qui sert de "trop-plein" aux éventuelles surproductions.

Le principe de fonctionnement de cet algorithme est représenté par l'organigramme de la figure (3). Où les différentes puissances sont désignées comme suit :

- $P_w$  : La puissance éolienne.
- $P_{pv}$  : La puissance photovoltaïque.
- $P_{ch}$  : La puissance demandée par la charge.
- SoC : L'état de charge et de décharge de la batterie (State of charge).

$\Delta P_1$  : La différence entre la puissance éolienne et la puissance demandée par la charge, elle est donnée par l'équation suivante :  $\Delta P_1 = P_w - P_{ch}$

$\Delta P_2$  : La différence entre la somme des deux puissances, à savoir l'éolienne et la photovoltaïque et la puissance demandée par la charge, elle est donnée par l'équation suivante :  $\Delta P_2 = (P_{pv} + P_w) - P_{ch}$

## 5. RESULTATS DE SIMULATION ET DISCUSSIONS

Pour valider par simulation la stratégie de gestion développée, nous avons considéré quelques scénarios de simulation que le système hybride est amené à rencontrer. Les résultats de simulations de ces cas sont donnés par les figures ci-dessous.

- **Cas où  $\Delta P_1 > 0$ ,  $\Delta P_2 > 0$  et SoC  $\in [10\% - 95\%]$**

Ce cas illustre une simulation du système global, où nous avons fait une variation de la puissance de charge qui augmente de 600W à 1300 W à  $t = 5s$ , puis elle diminue à 800 W à  $t = 10s$ . Dans ce cas la batterie est chargée à 50%.

Ce scénario nous permettra de voir la réaction de l'algorithme face à cette situation.

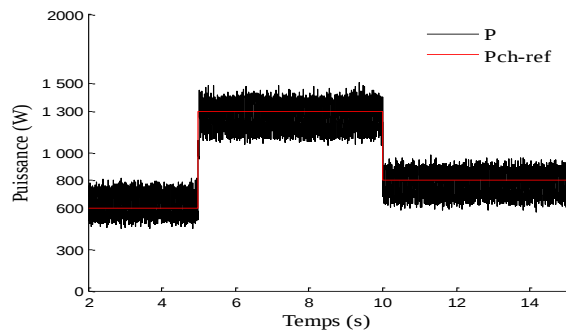


Fig. 4. Allure de la puissance produite par le système global.

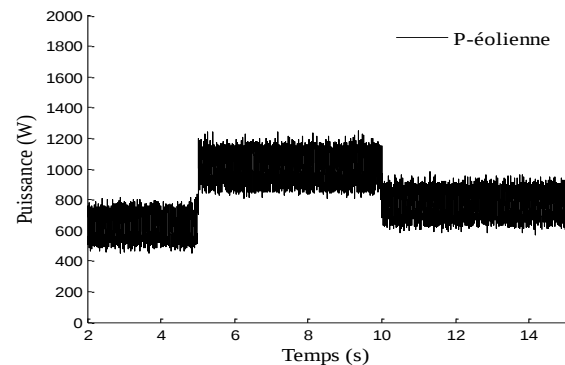


Fig. 5. Allure de la puissance du générateur éolien.

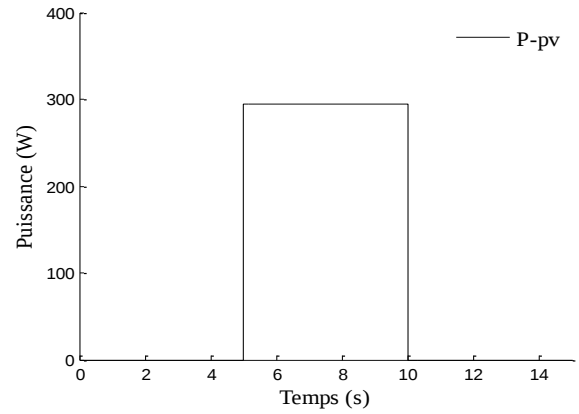


Fig. 6. Allure de la puissance délivrée par le générateur photovoltaïque.

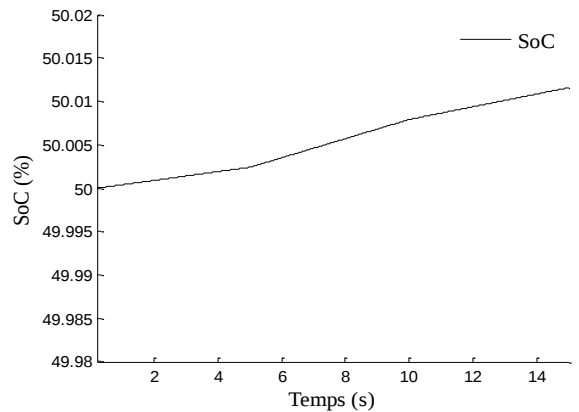


Fig. 7. Allure du SoC de la batterie.

Les résultats des figures 4-5 montrent que la source éolienne peut seule couvrir la demande de la charge, la source photovoltaïque est dans ce cas déconnectée (0s – 5s) (figure 6)

De  $t=5s$  à  $t=10s$ , lorsque nous avons fait varier la puissance de charge de référence, l'algorithme sollicite le générateur photovoltaïque pour satisfaire la charge (figure 6).

La figure (7) illustre l'évolution de l'état de charge (SoC) de la batterie. L'état de charge est maintenu à 50%.

- **Cas où  $\Delta P_1 > 0$ ,  $\Delta P_2 > 0$  et SoC  $> 95\%$**

Dans ce cas, nous avons refait la même expérience que celle précédemment citée mais la batterie est chargée à plus de 95%. Les résultats obtenus sont illustrés par les figures (8, 9 et 10).

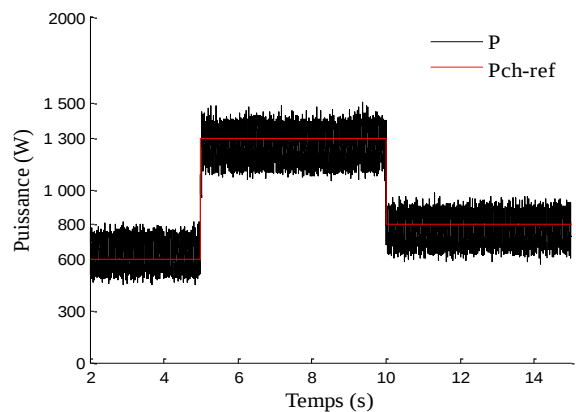


Fig. 8. Allure de la puissance produite par le système global.

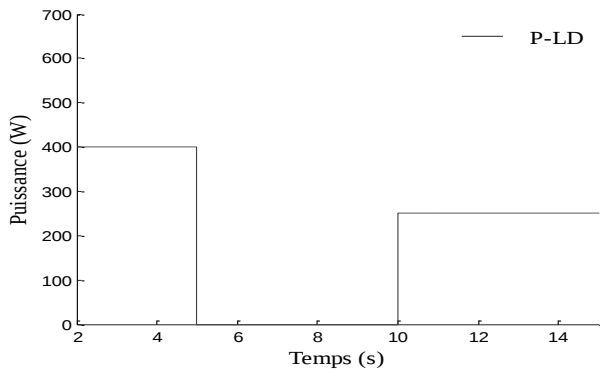


Fig. 9. Allure du surplus de puissance.

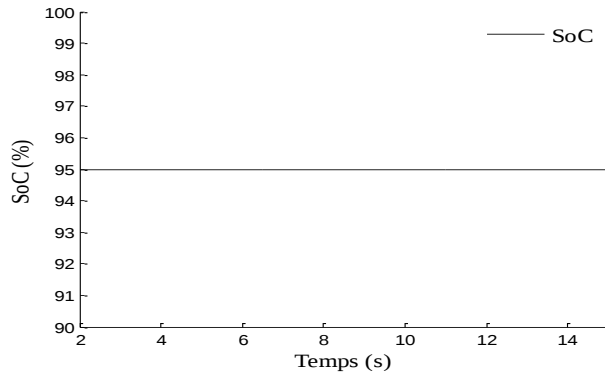


Fig. 10. Allure du SoC de la batterie

Les résultats de simulation montrent que lorsque la batterie est chargée (figure 10), le surplus de puissance est dissipé par la charge auxiliaire (figure 9).

- **Cas où  $\Delta P1 < 0$ ,  $\Delta P2 < 0$  et  $SoC < 10\%$**

Dans le dernier scénario considéré, nous avons effectué une variation de puissance jusqu'à ce que les deux sources n'arrivent plus à satisfaire la charge sachant que la batterie est à son état de charge minimal. Cette situation impose le déclenchement du générateur Diesel qui devra subvenir à la demande de la charge. A noter que le générateur est supposé comme une source constante.

De 0 à 5s, le générateur éolien suffit à lui seul de couvrir les besoins de la charge (figure 12). A partir de 5s le générateur éolien ne peut fournir qu'une partie de la puissance demandée, le générateur photovoltaïque entre en jeu pour fournir la puissance manquante (figure 13). A  $t=10s$ , une demande supplémentaire de puissance fait intervenir le générateur diesel (figure 14), la batterie étant déchargée (figure 15)

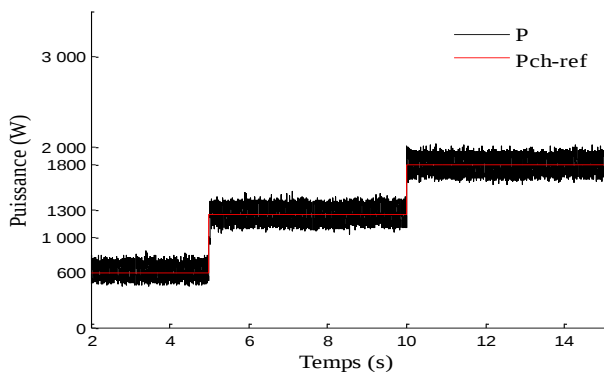


Fig. 11. Allure de la puissance produite par le système global.

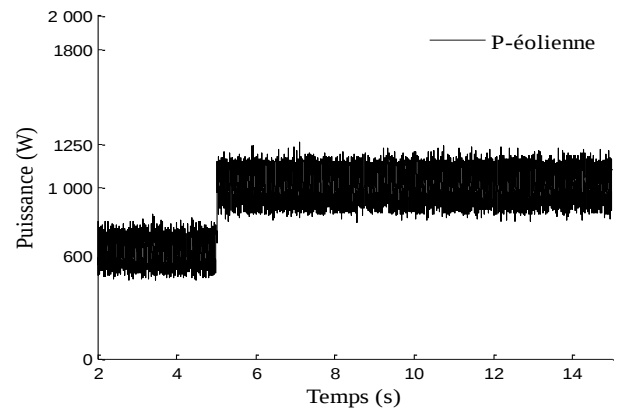


Fig. 12. Allure de la puissance du générateur éolien.

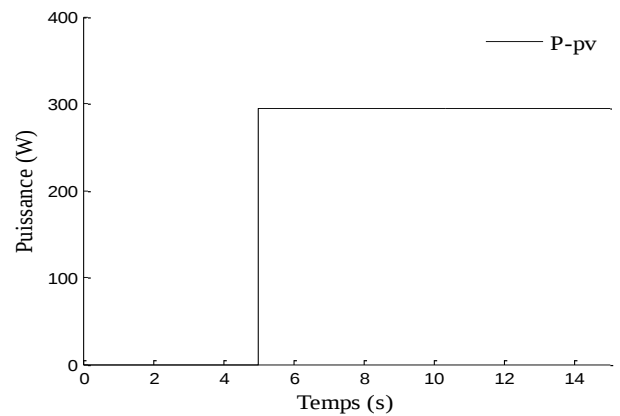


Fig. 13. Allure de la puissance du générateur photovoltaïque.

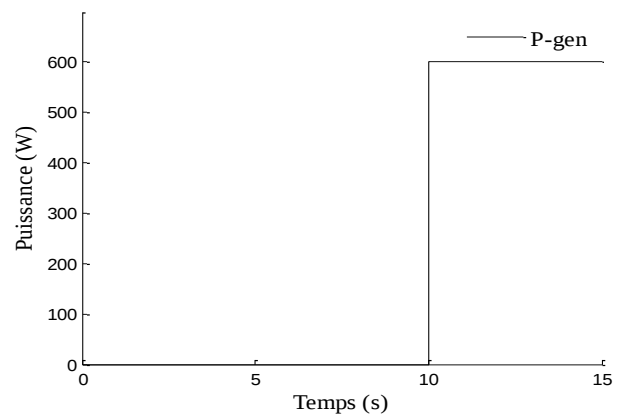


Fig. 14. Allure de la puissance du générateur diesel.

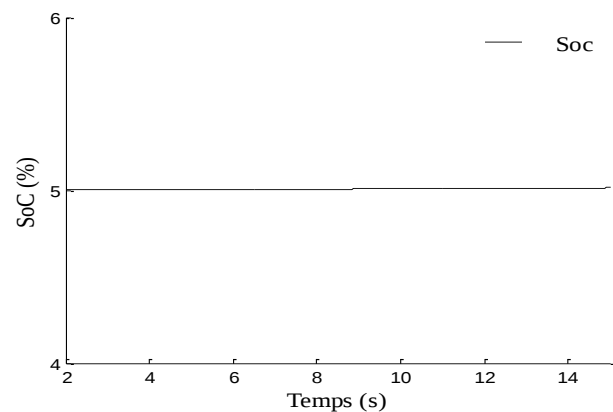


Fig. 15. Allure du SoC de la batterie.

Ces trois scenarii montrent que notre algorithme a répondu fidèlement à la raison principale de sa conception qui est de satisfaire la demande de la charge en considérant que le système de conversion éolien joue le rôle de la source principale, le système photovoltaïque le complète en cas de besoin et la batterie agit comme système de stockage dans le cas d'une surproduction et comme source de secours dans le cas d'un manque de production. Le générateur Diesel est considéré comme ultime source de secours.

## 6. ANNEXE

TABLE I  
PARAMETRES DE LA MACHINE ASYNCHRONE

| Paramètres    | Valeurs        |
|---------------|----------------|
| $P_a$         | 3 kW           |
| $\Omega_n$    | 1415 rpm       |
| $p$           | 2              |
| $R_s$         | 1.615 $\Omega$ |
| $R_r$         | 3.926 $\Omega$ |
| $l_{s\sigma}$ | 0.0126 H       |
| $l_{r\sigma}$ | 0.0126 H       |

TABLE II  
PARAMETRES DU PANNEAU PHOTOVOLTAÏQUE

| Paramètres         | Valeurs             |
|--------------------|---------------------|
| $P_{max}$          | 60 W/M <sup>2</sup> |
| $V_{max}$          | 17.2 V              |
| $I_{MP}$           | 3.4A                |
| $V_{co}$           | 21.1V               |
| $I_{cc}$           | 3.8 A               |
| Nombre de cellules | 36                  |

## 7. CONCLUSIONS

Dans cet article nous avons présenté un système hybride d'énergie électrique constitué d'une éolienne associée à des panneaux photovoltaïques et un système de stockage. Nous avons donné dans un premier lieu une présentation du système global. Ensuite, nous avons connecté les sources d'énergies vers un même bus continu par l'intermédiaire des convertisseurs, pour assurer la commande en puissance et assurer une tension du bus continu constante et ce en dépit des variations de la charge.

Par la suite, nous avons proposé un algorithme de gestion d'énergie pour déterminer les points de fonctionnement des sources du système hybride, dans le but de produire autant de puissance que celle demandée par la charge, et cela en sollicitant en priorité les sources d'énergie renouvelable et en épargnant les sources d'énergie conventionnelles (générateur diesel, batteries). Pour valider la stratégie de gestion que nous avons développée, nous avons testé par simulation, la réponse de notre algorithme face à un profil de demande de puissance renfermant les scenarii que le système est amené à rencontrer.

## 8. REFERENCES

- [1] Borowy, B.S. and Salameh, Z. M. « Methodology for Optimally Sizing the Combination of a Battery Bank and PV Array in a Wind/PV Hybrid System », IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 11, No. 2, June 1996.
- [2] Pinho, J.T., Araujo, R.G. « Wind-PV-diesel hybrid system for the electrification of the village of Sao Tome-municipality of Maracana-Brazil ». 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 7-11 June 2004, Paris, France, pp. 3511-3514, 2004.
- [3] Khelif, A., Fatnassi, L. « The hybrid power stations ». 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 6-10 June 2005, Barcelona, Spain, pp. 2947-2951, 2005.
- [4] Phuangpornpitak, N., Kumar, S. « PV hybrid systems for rural electrification in Thailand ». Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 11, pp. 1530-1543, 2007.
- [5] Brito, A.U., Galhardo, M.A.B., Macedo, W.N., Pinho J.T. « Power quality analysis of a small PV-wind-diesel hybrid system in the countryside of the state of PARA-BRASIL ». 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 7-11 June 2004, Paris, France, pp. 3515-3518, 2004.
- [6] McGowan, J.G., Manwell, J.F. « Hybrid wind/PV/diesel system experiences ». Renewable Energy, vol. 16, pp. 928-933, 1999.
- [7] Tina, G.M., Brunetto, C., Gagliano, S., Petino, S., Guerra, M., Schioppo, R., Candio, A. « Monte Aquilone hybrid Photovoltaic-Diesel power generation system testing site-experimental tuning of subsystem models ». 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 6-10 June 2005, Barcelona, Spain, pp. 2319-2322, 2005.
- [8] Muselli, M., Notton, G., Poggi, P., Louche, A., (2000). « PV-hybrid power systems sizing incorporating battery storage: analysis via simulation calculations ». Renewable Energy, vol. 20, pp. 1-7, 2000.
- [9] Ashari, M., Nayar, C. V., (1999). « An optimum dispatch strategy using set points for a photovoltaic (PV)-diesel-battery hybrid power system ». Solar Energy, vol. 66, Issue1, pp1-9, may1999.
- [10] Busquet, S., Leroux, P., Albuissou, M., Gatt, P., Menard, L., Mayer, D., Metkemeijer, R. « PV/fuel cell hybrid systems performance analysis and possible improvements ». 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 7-11 June 2004, Paris, France, pp. 2426-2429, 2004.
- [11] Dali, M., Belhadj, J., Roboam, X. « Hybrid solar-wind system with battery storage operating in grid-connected and standalone mode: Control and energy management – Experimental investigation ». Energy, vol. 35, pp. 2587-2595, 2010.
- [12] Darras, C. « Modélisation de Systèmes Hybrides Photovoltaïque / Hydrogène : Applications site isolé, micro-réseau, et connexion au réseau électrique dans le cadre du projet PEPITE », Thèse de Doctorat, Université de Corse-Pascal Paoli, May 2011.
- [13] Diaf, S., Notton, G., Belhamel, M., Haddadi, M., Louche, A. « Design and techno-economical optimization for hybrid PV/wind system under various meteorological conditions ». Applied Energy, vol. 85, pp. 968-987, 2008.
- [14] Dufo-Lopez, R., Bernal-Agustin, J.L. « Multi-objective design of PV-wind-diesel-hydrogen- battery systems ». Renewable Energy, vol. 33, pp. 2559-2572, 2008.
- [15] Jeremy, L. « Modélisation, Dimensionnement et Optimisation des Systèmes d'Alimentation Décentralisés à Energie Renouvelables- Application des Systèmes Multi-Agents pour la Gestion de l'Energie ». PhD thesis, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, 2009.
- [16] Kasseris, E., Samaras, Z., Zafeiris, D. « Optimization of a wind-power fuel-cell hybrid system in an autonomous electrical network environment ». Renewable Energy, vol. 32, pp. 57-79, 2007.
- [17] Lila Croci, « Gestion de l'énergie dans un système multi-sources photovoltaïque et éolien avec stockage hybride batteries/super condensateurs ». PhD thesis, Université de POITIERS, 2014.
- [18] Lopez, M. « Contribution à l'Optimisation d'un Système de Conversion Eolien Pour une Unité de Production Isolée », Thèse de Doctorat, Université de Paris-Sud, 2008.