

# Etude de vieillissement d'un banc de stockage plombe-acide dans un système hybride multi-sources

Toufik Madani LAYADI<sup>1</sup>, Gérard CHAMPENOIS<sup>2</sup>, Mohammed MOSTEFAI<sup>1</sup>, Abbes DHAHER<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Université Farhat Abbas Sétif1- Algérie, Laboratoire d'automatique de Sétif (LAS)

<sup>2</sup>Université de Poitiers - France, Laboratoire d'Informatique et d'Automatique pour les Systèmes (LIAS)

<sup>3</sup>Département EEA - HEI, 13 Rue de Toul 59046 Lille, France

[layaditm@gmail.com](mailto:layaditm@gmail.com) , [gerard.champenois@univ-poitiers.fr](mailto:gerard.champenois@univ-poitiers.fr) , [mostefai@univ-setif.dz](mailto:mostefai@univ-setif.dz)

**RESUME** – L'objectif de cet article est de présenter une méthodologie pour calculer le taux de vieillissement d'une batterie de stockage lorsqu'elle est insérée dans un système hybride multi-sources à base d'énergies renouvelables. La démarche consiste dans un premier temps de connaître les sollicitations de la batterie durant une année par la connaissance à chaque instant de son état de charge (SOC). Cette courbe est obtenue à partir d'un simulateur dynamique prenant en compte des intermittences des sources et de la charge. La deuxième étape est, à partir du SOC, déterminer le nombre de cycle et la profondeur de charge de chaque cycle. Ensuite, la caractéristique de durée de vie de la batterie donnée par le fabricant, se caractérise par la courbe du nombre de cycle en fonction de la profondeur de décharge (DOD). Ainsi en combinant les deux dernières étapes, il est possible de donner le taux de vieillissement de la batterie pour l'année simulée.

**MOTS-CLES** – Taux de vieillissement de batterie, Système hybride multi-sources, Energies renouvelables, Générateur diesel.

## 1. Introduction

Ces dernières années les sources d'énergies renouvelables hybrides couplées à un générateur diesel et un pack de batterie [1] ont connu une large utilisation pour l'électrification des sites isolés. L'avantage de ces systèmes est l'hybridation entre les énergies renouvelables et les énergies fossiles d'une part et la réalisation de l'autonomie des systèmes d'autre part. Plusieurs auteurs ont basé sur leurs travaux sur l'utilisation de générateur solaire, de générateur éolien, de turbine à gaz, de générateur diesel et des systèmes de stockage pour construire des configurations hybrides autonomes. Dans [2] [3] [4] et [5], les auteurs ont fait le dimensionnement des installations hybrides avec des architectures différentes en se basant sur l'optimisation d'une fonction de coût exprimée en € ou en \$. Dans [6], les auteurs ont fondé sur l'optimisation d'une fonction objectif exprimée en MJ afin de dimensionner un système dynamique hybride comportant un générateur photovoltaïque (GPV), un générateur éolien (GE) et système de stockage (batterie). La fonction objectif utilisée dans [6] prend en considération le cycle de vie des générateurs du système, mais pas directement celle de la batterie. Pour poursuivre ce genre d'étude, il est important de pouvoir exprimer le cycle de vie des batteries pour pouvoir le prendre en compte dans un algorithme d'optimisation global.

L'objectif de cet article est de faire l'étude de vieillissement du banc de stockage utilisé dans les systèmes hybrides multi-sources. Pour illustrer la démarche suivie, le système multi-sources est composé d'un générateur photovoltaïque (PV), d'un générateur éolien (GE), d'un générateur diesel (GD) et d'un système de stockage à base de batteries plomb-acide. Le simulateur dynamique est implanté sous Matlab - Simulink.

L'organisation de l'article est structurée comme suit :

- Représentation globale du simulateur dynamique hybride (GPV/GE/GD + batterie) ;
- Modélisation du cycle de vie de la batterie ;
- Calcul du vieillissement de la batterie ;
- Conclusion.

## 2. Représentation du simulateur dynamique hybride

Le simulateur dynamique, illustré par la figure 1, représente une implémentation fonctionnelle du système d'électrification hybride multi-sources étudié. Les sources d'énergie du simulateur sont issues des énergies renouvelables (photovoltaïque et éolienne), et d'énergie fossile (générateur diesel) avec un système de stockage. Les entrées du simulateur dynamique sont les suivantes :

- Vecteurs définissant les données météorologiques irradiation  $I_r [w/m^2]$ , température ambiante  $T_a [C^\circ]$  et vitesse du vent  $w_s [m/s]$ .
- Surface du champ solaire  $A_{pv}$ , surface du rotor de la turbine éolienne  $A_{wt}$ , la capacité de batterie  $Ah$  et le carburant d'alimentation du générateur diesel  $Fuel [l/h]$ .
- Profil de consommation  $P_{load} [w]$ .

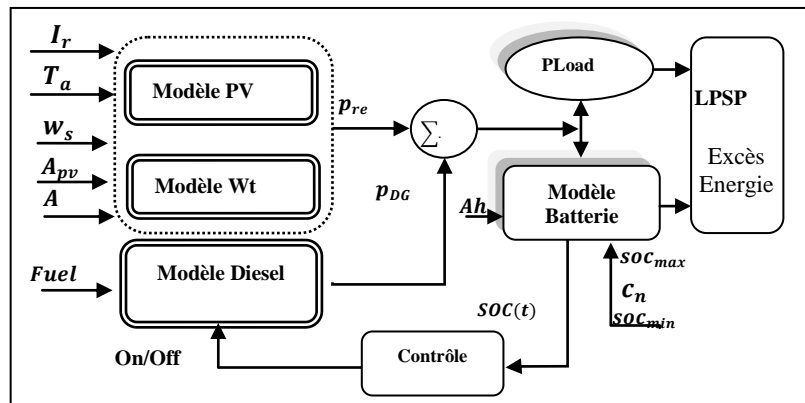


Figure 1 : schéma bloc du simulateur dynamique

Suivant la figure 1, la satisfaction permanente de la charge est assurée par les deux générateurs renouvelables, le générateur diesel (GD) et la batterie de stockage. Le fonctionnement du GD diesel est strictement dépend de l'état de charge/décharge de la batterie. Et afin de contrôler le fonctionnement (marche/arrêt) autonome du GD deux seuils ( $SOC_{dmax}$  et  $SOC_{dmin}$ ) sont définis.

Le simulateur dynamique fonctionne sur des données d'une année avec un pas d'échantillonnage de 30s. Celui-ci permet de connaître toutes les puissances fournies par les générateurs, les pertes et l'état de charge de la batterie (SOC) à chaque pas d'échantillonnage pendant une année. Dans cette étude, c'est la grandeur SOC qui est utilisée. La figure 2 représente la forme du SOC obtenu sur un an de simulation dynamique avec les données météorologiques du site de la Tunisie [9], et les autres données sont les suivantes :  $A_{pv} = 12.947m^2$ ,  $A_{wt} = 4.469m^2$ ,  $A_h = 220 Ah$ ,  $SOC_{dmax} = 70\%$ ,  $SOC_{dmin} = 35\%$ ,  $Pload = 2193Kwh/an$ .

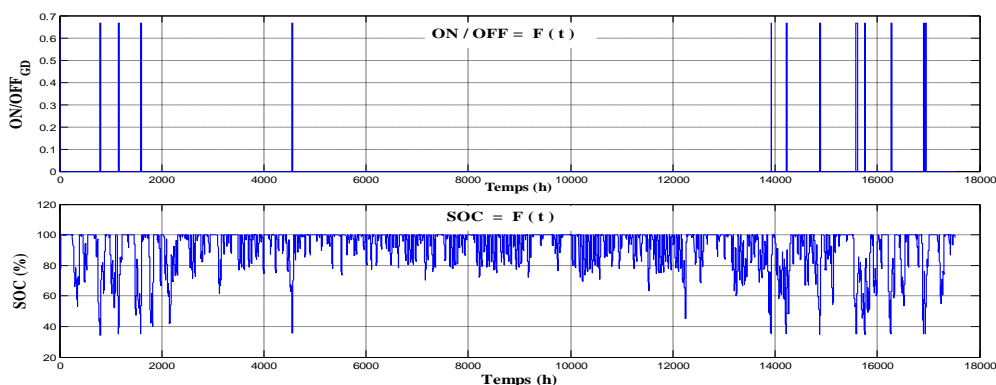


Figure 2 : Etat (on/off) du générateur diesel et variation de l'état de charge (SOC(t)) de la batterie

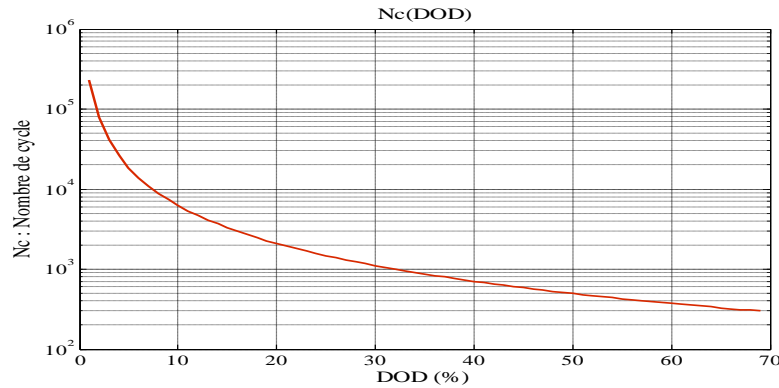
## 3. Modélisation du cycle de vie de la batterie

L'étude est basée sur les données du fabricant qui caractérise la durée de vie de la batterie par le nombre de cycle en fonction d'une même profondeur de décharge. Il donne trois points de la courbe par lesquels on extrapole la courbe complète. Par exemple, pour une profondeur de charge variant dans l'intervalle  $DOD\% = [50 \ 80 \ 100]$ , cela

correspond à des *Nombres de Cycle* = [500 225 200]. A partir de ces données, on obtient l'expression mathématique suivante :  $T_c(DOD)$

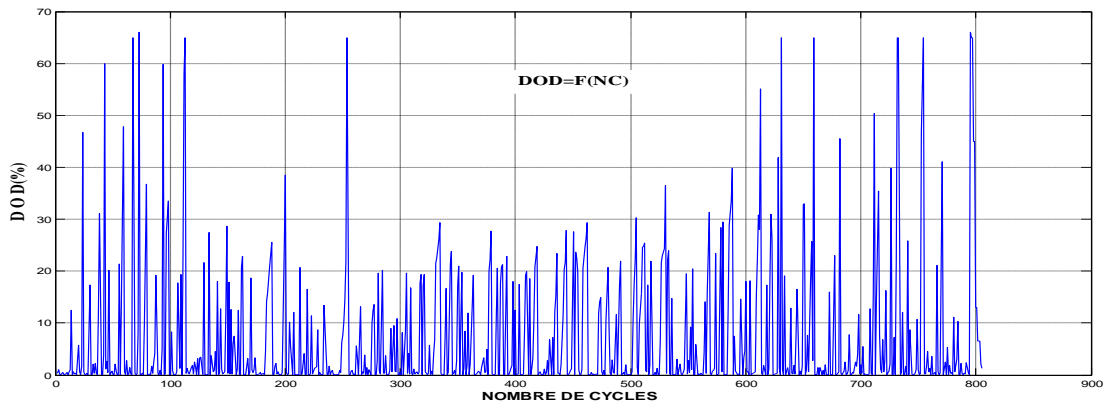
$$N_{c(DOD)} = 167.6 (DOD\%)^{-1.57} \quad (1)$$

Où  $N_c$  est le nombre de cycle de la batterie. La figure 3 représente la courbe caractéristique de durée de vie de la batterie.



**Figure 3: variation de nombre de cycle en fonction de DOD**

Pour déterminer le nombre de cycles effectués par la batterie pendant la phase de charge-décharge, un algorithme de calcul appelé le Rainflow [7] est capable de trouver tous les extrema (maxima et minima) de l'état de charge pour extraire le nombre de cycle du signal avec sa profondeur de décharge correspondante. A partir de la figure 2 de l'exemple pris, nous avons obtenu la figure 4 (*DOD/Cycle*) en appliquant l'algorithme de Rainflow.



**Figure 4 : profondeur de décharge en fonction de chaque cycle effectué par la batterie (*DOD/Cycle*)**

#### 4. Calcul du vieillissement de la batterie

A partir de la caractéristique du cycle de vie de la batterie ( $N_{c(DOD)}$ ), on considère que chaque cycle avec une profondeur de décharge donnée ( $DOD$ ) provoque un pourcentage de vieillissement pour ce cycle (par exemple pour un cycle avec un  $DOD=100\%$  correspond à un vieillissement de  $1/200$  de la batterie). Pour connaître le vieillissement sur une année, il faut faire la somme de vieillissement de chaque cycle (qui est fonction du  $DOD$  de chaque cycle).

Le taux de vieillissement par cycle ( $T_{V/C(DOD)}$ ) peut s'écrire sous la forme suivante :

$$T_{V/C(DOD)} = 1/N_{c(DOD)} \quad (2)$$

Les variations de taux de vieillissement par cycle de la batterie sont présentées à la figure 5.

Dans l'exemple développé, on a extrait 800 cycles différents pour une année. Ainsi le taux de vieillissement de la batterie peut se calculer par la formule suivante :

$$T_v = \sum_{N_c=1}^{800} (T_{V/C(DOD)}) \quad (3)$$

La figure 6 illustre la démarche suivie pour obtenir le taux de vieillissement pour une durée donnée.

Le taux de vieillissement total ( $T_v$ ) obtenu pour une durée de fonctionnement d'un an, pour l'exemple pris, a été  $T_{V/an} = 15.52\%$ . Ce qui signifie que le banc de batteries de type plombe-acide, dans notre application, aura une durée de vie égale à 6.5 ans.

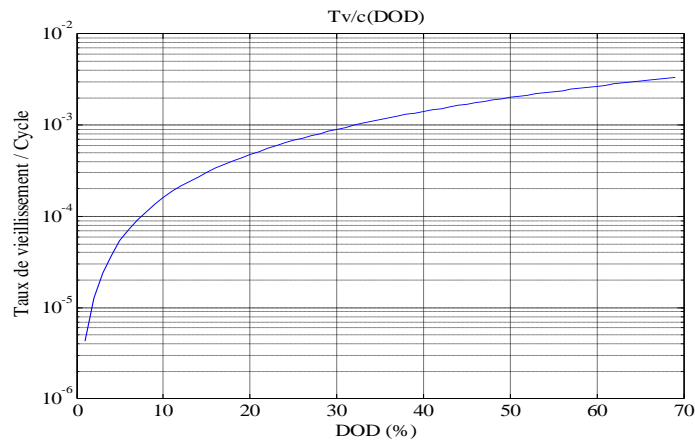


Figure 5 :  $T_{VC(DOD)}$  : Evolution de taux de vieillissement par cycle en fonction du DOD

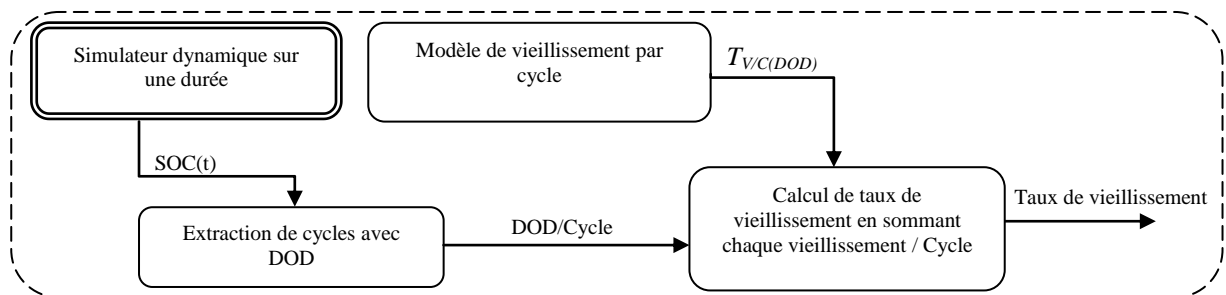


Figure 6: modèle de vieillissement de la batterie

## 5. Conclusion

Cet article montre la démarche pour déterminer le cycle de vie de batterie pour des cycles de charge et décharge variable tels que l'application de systèmes multi-sources avec stockage à base d'énergie renouvelables provoque. Dans le cas de travaux sur l'optimisation de dimensionnement ce genre de système de génération d'énergie, il est indispensable de posséder un modèle de vieillissement de la batterie.

L'article final donnera plus de détail sur la méthode Rainflow qui est à la base du calcul.

## 6. Références

- [1] T.M. Layadi, M. Mostefai, G. Champenois et D. Abbes, « Dimensioning a hybrid electrification system (PV / WT / DG / battery) using a dynamic simulator », Electrical Engineering and Software Applications conference (ICEESA), Hammamet, 2013.
- [2] R. Dufo-Lopez, J. L. Bernal-Agustín, « Design and control strategies of PV-Diesel systems using genetic algorithms », Solar Energy, pp.33-46, November 2004.
- [3] E. Koutroulis, D. Kolokotsa, A. Potirakis and K. Kalaitzakis, « Methodology for optimal sizing of stand-alone photovoltaic/wind-generator systems using genetic algorithms », Solar Energy, vol. A247, pp. 1072–1088, November 2005.
- [4] D.B. Nelson, M.H. Nehrir and C. Wang, « Unit sizing and cost analysis of stand-alone hybrid wind/PV/fuel cell power generation systems », Renewable Energy, vol. , pp. 1641–1656, August 2005.
- [5] R. Belfkira, L. Zhang and G. Barakat, « Optimal sizing study of hybrid wind/PV/diesel power generation unit », Solar Energy, vol. 85, Issue 1, pp 100–110, January 2011
- [6] D. Abbes, A. Martinez and G. Champenois, « Eco-design Optimisation of autonomous hybrid wind-photovoltaic system with battery storage », IET Renewable Power Generation, vol. 6, issue 5, pp 358 – 371, September 2012
- [7] M. Belouda, A. Djaafar, B. Sareni, X. Roboam, J. Belhadj, « Integrated optimal design and sensitivity analysis of a stand alone wind turbine system with storage for rural electrification » Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 28, pp 616–624, December 2013
- [8] DYNAMIS Batterien GmbH, « Sealed Lead Acid Batteries Technical Manual », 2006
- [9] Données météorologiques d'un site Tunisien « <http://globalenergyobservatory.org/geoid/41575> »