



**HAL**  
open science

## Critères de choix d'un système de stockage électrochimique hybride d'énergie photovoltaïque

Christine Lefrou, Jérémy Dulout, Bruno Jammes, Corinne Alonso

### ► To cite this version:

Christine Lefrou, Jérémy Dulout, Bruno Jammes, Corinne Alonso. Critères de choix d'un système de stockage électrochimique hybride d'énergie photovoltaïque. Congrès de la Société Chimique de France, Jul 2015, Lille, France. hal-01178996

**HAL Id: hal-01178996**

**<https://hal.science/hal-01178996v1>**

Submitted on 23 Jul 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Criteria for choosing a hybrid electrochemical storage system of photovoltaic energy

## Critères de choix d'un système de stockage électrochimique hybride d'énergie photovoltaïque

C. Lefrou<sup>\*,1,2,3</sup>, J. Dulout<sup>3,4</sup>, B. Jammes<sup>3,4</sup>, C. Alonso<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> Université de Grenoble Alpes, LEPMI, F-38000 Grenoble, France

<sup>2</sup> CNRS, LEPMI, F-38000 Grenoble, France

<sup>3</sup> CNRS, LAAS; 7 Avenue du Colonel Roche, F-31077, Toulouse, France

<sup>4</sup> Université de Toulouse, UPS, INSA, LAAS, F-31400 Toulouse, France

\* Corresponding author: christine.lefrou@lepmi.grenoble-inp.fr

---

**Résumé :** Une procédure d'optimisation et de dimensionnement d'un système de stockage électrochimique d'énergie associé à des panneaux solaires est décrite et discutée. Elle permet d'étudier l'intérêt ou non de réaliser un système hybride associant deux types de batteries différents. Cet outil utilise un modèle simplifié de batteries : elles sont considérées comme une source de tension constante en série avec une résistance interne avec une capacité finie indépendante du type d'utilisation. Le modèle prend ainsi en compte des caractéristiques de batteries à l'état neuf : capacité, régime maximal de charge, résistance interne et coût.

---

**Summary:** The design of battery systems is an important issue in many cases conditioned by several constraints and modeling challenges. This work proposes a design method for electrochemical hybrid energy storage system associated with photovoltaic modules. Based on this method, an optimization procedure is used to discuss the interest of creating a hybrid system combining two different types of batteries. The batteries are modeled as a constant voltage source in series with an internal resistance and the finite capacity of the batteries is considered independent from their use. The model uses the battery capacity, maximum charge rate, internal resistance and cost given at the beginning of the battery life.

---

**Keywords:** batteries, solar energy, hybrid storage system

Photovoltaic technology is an already technically mature and economically sound alternative for producing green electricity. However, its massive deployment is hampered by the intermittency of the sun. Therefore, storage elements must be associated with photovoltaic plants to stabilize their energy flow. However it is not easy to correctly size the storage elements, minimize the initial cost and optimize their use while in operation. All these challenges are addressed by our project, through the development of tools which can determine the best storage system.

Le développement de l'utilisation de l'énergie solaire a une place importante dans la transition énergétique du futur, en particulier dans le secteur du bâtiment. On peut attendre des avancées techniques tant sur les panneaux photovoltaïques que sur les systèmes de stockage d'énergie qui sont associés à cette source d'énergie intermittente. Mais, d'ores et déjà, avec les technologies aujourd'hui matures et commerciales, une réflexion avancée et des outils pour l'optimisation et le choix des systèmes sont encore à développer.

### 1 Introduction

Dans le secteur du bâtiment, l'installation de panneaux photovoltaïques doit s'accompagner d'une réflexion sur le système de stockage de cette énergie intermittente. Afin de rendre l'installation plus souple et ayant un moindre impact sur son environnement : on peut alors par exemple stocker l'énergie produite en surplus de la consommation un jour de grand soleil et la restituer la nuit suivante ou un jour plus nuageux. En plus du choix de scénario associé aux profils de production et consommation d'énergie, l'offre de systèmes de stockage est abondante et il est donc nécessaire de bâtir des outils pour orienter ce choix [1]. Dans le cadre de ce travail, nous envisageons un stockage à l'échelle d'un bâtiment par l'association

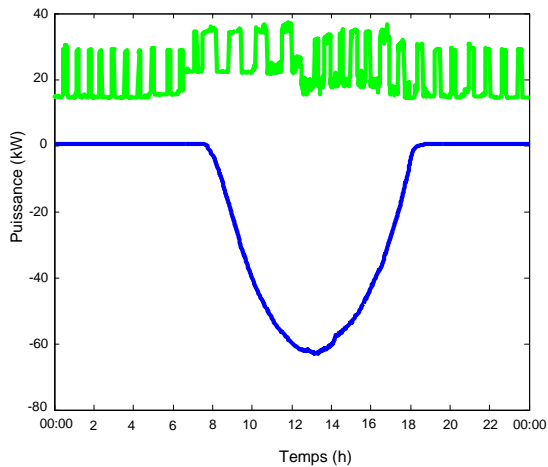
de batteries de deux types différents et complémentaires.

Après avoir défini un scénario d'utilisation des batteries, la réflexion se focalise autour de l'optimisation du coût à l'installation et du rendement énergétique du système.

### 2 Profil d'utilisation des batteries

Afin de définir un profil d'utilisation du système de stockage à optimiser, des données réelles de production et consommation ont été utilisées. Il s'agit des données recueillies sur plus d'une année sur une plateforme expérimentale intégrée au bâtiment Adream sur le site du LAAS-CNRS à Toulouse [2]. Ce dernier est équipé de panneaux photovoltaïques en toit et en façade, de technologie et orientation différentes, pour une puissance de 100 kW crête. A titre d'exemple la figure 1

représente le profil de puissance produite et consommée du bâtiment, sur une journée de weekend ensoleillé du mois de Mars 2014. Le pas d'échantillonnage est la minute.



**Fig. 1.** Profil dans le temps, sur la journée du 8 Mars 2014, de la puissance produite (en bleu) et la puissance consommée (en vert) au niveau du bâtiment Adream.

Globalement sur une année, la consommation excède la production. Il n'est donc pas envisageable de fonctionner de manière permanente en site isolé. Le scénario retenu pour cette étude consiste, dès que le bâtiment est à énergie positive, à stocker la totalité de cet excédent et à le réinjecter plus tard afin d'alléger l'apport d'énergie extérieure par le réseau. La production maximale, et donc la puissance instantanée et l'énergie stockée maximales, correspond à un jour de weekend au printemps (le bâtiment Adream est un bâtiment de bureaux). Le profil schématique de puissance chargée et déchargée au niveau des batteries, déduit des données réelles avec ce scénario, est constituée d'une période de charge de 10 h sous forme d'un profil parabolique caractérisée par la puissance maximale et d'une période de décharge à courant constant pendant 14h, avec un état de charge des batteries inchangé après 24h.

### 3 Caractéristiques des batteries

Pour cette étude, on considère des données sur des batteries à l'état neuf. Le coût pris en compte correspond donc à un coût à l'installation et ne tient pas compte du coût en fonctionnement, qui inclurait par exemple le remplacement éventuel des batteries. L'étude d'optimisation sera faite avec deux critères : le coût et le rendement énergétique. Pour ce type d'applications dites stationnaires, les poids et le volume constituent des critères peu critiques. Afin de faciliter le raisonnement, et parce que cela correspond également à une contrainte pour la mise en pratique des batteries, on envisagera des packs unitaires de même tension moyenne à vide égale à 24 V. Donc par exemple pour la technologie plomb, on se ramènera dans l'optimisation aux caractéristiques d'un pack 24 V constitué de 12 éléments de 2V mis en série [3].

Compte tenu du profil retenu, le dimensionnement, c'est-à-dire le calcul du nombre de batteries à assembler en série/parallèle pour atteindre les performances requises, se fait sur les caractéristiques en charge : puissance maximale et/ou énergie totale stockée sur une journée. On suppose de manière simplifiée que pour une batterie donnée ces valeurs sont indépendantes du type d'utilisation. Pour la valeur de l'énergie ou capacité, on inclura un facteur tenant compte de la plage de profondeurs de décharge (DOD) recommandée par le fabricant. Toujours de manière simplifiée, le rendement énergétique sera estimé en considérant qu'une batterie est une source de tension constante (la tension moyenne en circuit ouvert) en série avec une résistance interne. On ajoutera enfin dans la liste des caractéristiques des batteries considérées leur coût. Au total, pour chaque type de batteries, on utilisera quatre caractéristiques d'entrée pour dimensionner et optimiser le système de stockage : la capacité maximale, le régime standard de charge, la résistance interne et le coût.

### 4 Résultats et perspectives

Les évolutions du coût global d'installation et du rendement énergétique du système de stockage électrochimiques sont étudiées pour différentes associations de batteries de type A et B. Les caractéristiques de ces deux types de batteries sont choisies telles que cela représente un ordre de grandeur de l'association entre des batteries au plomb et des batteries Li-ion.

Les évolutions de ce type d'outil peuvent être envisagées dans différentes directions. Un premier point à intégrer est l'aspect vieillissement : ce dernier joue à différents niveaux car il intervient au premier lieu dans le calcul du coût mais de manière plus fine, il faut aussi tenir compte du lien complexe existant entre la sollicitation réelle de la batterie et son vieillissement. D'autre part nous n'avons pris en compte ici qu'une seule valeur d'énergie. Dans la réalité, il est connu que la valeur de capacité pratique d'une batterie est dépendante du fonctionnement qui lui est demandée. Cela est illustré classiquement par exemple sur des diagrammes de Ragone et est particulièrement sensible pour les batteries au plomb [4]. Enfin, on peut souhaiter optimiser le système global sur davantage de critères, comme par exemple la performance en recyclage des batteries, leur coût d'entretien...

#### Remerciements

Nous remercions le projet Neocampus qui participe et soutient ces travaux.

#### References

- [1] T. Khatib, A. Mohamed, K. Sopian, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 22 (2013) 454.
- [2] <http://www.laas.fr/ADREAM/>
- [3] T. Reddy, D. Linden, *Linden's handbook of batteries*, 4<sup>th</sup> ed. McGraw Hill 2011, ISBN 978-0-07-162421-3.
- [4] D. Ragone, SAE Technical Paper 680453, 1968.