

# Résultats expérimentaux sur la durée de vie des batteries au plomb associées aux supercondensateurs

Bogdan VULTURESCU<sup>a</sup>, Christophe FORGEZ<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (IFSTTAR)

<sup>b</sup> Université de Technologie de Compiègne (UTC)

**RESUME** – L'association des supercondensateurs aux batteries apporte de nombreux avantages. Parmi eux, l'augmentation de la durée de vie des batteries est souvent citée, mais très peu explorée de manière expérimentale. Le dispositif expérimental présenté dans cet article a permis le cyclage comparatif de deux packs de batteries au plomb : un premier pack représente l'unique source d'énergie d'un véhicule électrique et l'autre pack la composante énergétique d'une source hybride (batteries-supercondensateurs). Les profils de courant utilisés sont issus de la simulation d'un véhicule lourd type benne à ordures ménagères sur un cycle de conduite européen type ARTEMIS. La mesure de la capacité des batteries est le principal indicateur de durée de vie, mais des spectroscopies d'impédance et des tests d'acceptabilité en charge ont été également utilisés pour caractériser la dégradation des batteries. La durée de vie des batteries a été améliorée de manière significative à la suite de l'association de supercondensateurs.

**MOTS-CLES** – source hybride, batterie au plomb, supercondensateurs, durée de vie, cyclage batteries.

## 1. Introduction

Les véhicules électriques à batterie représentent une solution parmi d'autres pour une mobilité urbaine propre. Mais, même si elles remplissent les besoins actuels des utilisateurs [1], ces véhicules sont loin d'être parfaits car la batterie « idéale » n'existe pas. En effet, une batterie « idéale » aurait une grande capacité, une excellente puissance massique, un temps de recharge très court, ne poserait pas de problèmes de sécurité et serait à faible coût. Une partie de ces desiderata se trouvent dans certaines technologies de batteries au Li, mais leur coût reste très élevé. L'article de Gerssen-Gondelach [2] montre que le coût de la batterie au plomb est compétitif avec celui d'une future batterie au Li à faible coût (pour des distances d'environ 200km) si la durée de vie de la batterie au plomb est de 5 ans.

Une réponse technique pourrait être l'association des batteries au plomb avec des supercondensateurs. La source hybride ainsi obtenue tirerait le meilleur de chaque composant : une énergie spécifique satisfaisante, pas très chère, ainsi qu'une puissance massique très intéressante.

Les principaux bénéfices de l'association batteries au plomb – supercondensateurs sont : le filtrage et la limitation du courant délivré par la batterie [3, 4], la modification de la fenêtre de l'état de charge de la batterie [5], l'augmentation de l'autonomie du véhicule [6-8], meilleures performances en basse température [9, 10], l'augmentation de la durée de vie [11, 12].

Ce dernier point est souvent mentionné mais rarement abordé du point de vue expérimental, car le cyclage des batteries prend beaucoup de temps et pose des problèmes d'équivalence entre les conditions de cyclage et la vie réelle des batteries. Les exceptions sont [11] et [12]. Dans [12], Omar propose un test d'endurance pour montrer une augmentation de la durée de vie des batteries de 30% dans un montage passif (supercondensateurs connectés directement aux bornes de la batterie). Dans [11], Angers a cyclé deux packs en parallèle. Un premier pack représente la source d'énergie d'un véhicule alimenté uniquement par la batterie. Le deuxième pack simule le même véhicule mais alimenté par une source hybride. L'essai n'a pas mis en évidence une augmentation significative de la durée de vie des batteries.

Dans cet article nous proposons une démarche similaire à celle de [11], le cyclage comparatif de deux packs, mais les hypothèses du cyclage et la procédure suivie sont différents. L'objectif principal de l'article est de présenter la méthode de constitution du profil de courant utilisé pour le cyclage journalier de chacun des packs, la procédure suivie pendant 18 mois et les résultats expérimentaux. Ces travaux font partie du projet ARCHYBALD financé par l'ANR.

## 2. Du profil de mission au profil journalier en courant

Dans cette première partie de l'article nous allons rappeler brièvement les caractéristiques du véhicule lourd simulé (une benne à ordures ménagères), le cycle de conduite adopté, la stratégie de management de l'énergie à bord du véhicule et le dimensionnement de la source hybride de stockage d'énergie. Ces trois éléments forment un puzzle et représentent les hypothèses fortes de la méthodologie de cyclage.

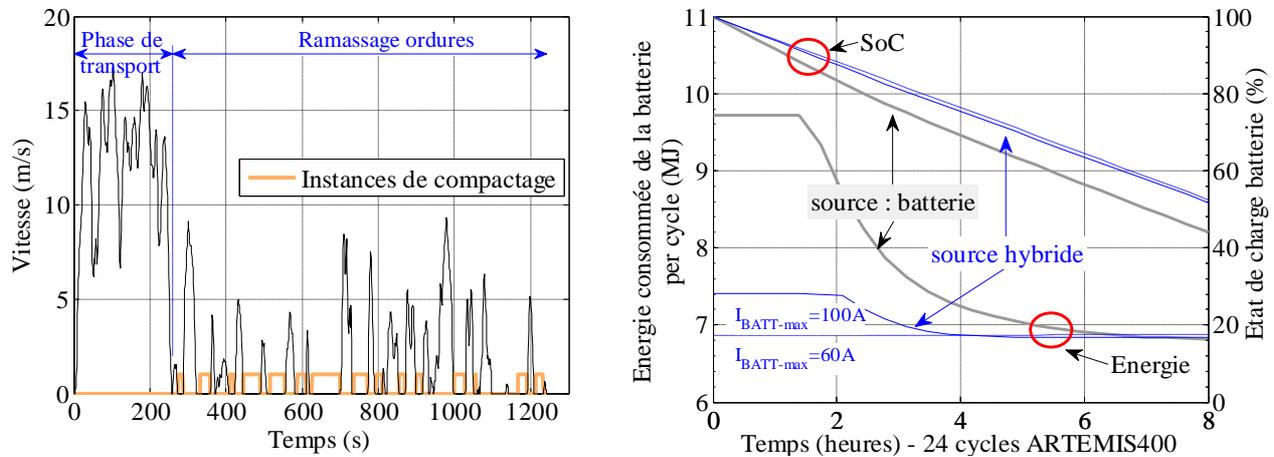


Figure 1 : Cycle de conduite pour benne à ordures ARTEMIS400 (gauche) et consommation énergétique journalière (droite)

Le profil de mission type pour une benne à ordures ménagères à moteur thermique (figure 1 gauche) est composé de deux phases : transport et ramassage. Dans le cadre du projet nous avons considéré que le transport des ordures se fait en mode diesel-électrique (sans consommation électrique provenant des batteries car il s'agit d'un hybride série) et la phase de ramassage en mode tout-électrique, le véhicule étant alimenté dans cette phase, par la source hybride (batteries-supercondensateurs).

La stratégie de partage du flux de puissance (de la traction et des auxiliaires) est basée sur les spécifications suivantes : 1) en traction, le courant fourni par la batterie est limité à une valeur maximale, le reste étant fourni par les supercondensateurs, 2) en freinage-récupération, les supercondensateurs se chargent de manière prioritaire, 3) l'état de charge des supercondensateurs est maintenu à un niveau constant, élevé.

Le dimensionnement des packs batterie et supercondensateurs est issu de simulations de la stratégie de gestion appliquée au profil de mission, en considérant certaines contraintes sur le courant RMS dans la batterie et supercondensateurs, la capacité de récupération d'énergie, ...

Pour un même pack de batterie, la consommation journalière d'un véhicule alimenté uniquement sur batterie est supérieure à celle d'un véhicule hybride (figure 1 droite). Au niveau de la batterie cela implique des niveaux de décharges différents, des courants instantanés différents, ... Il est donc évident que pour un même état de charge initiale, la durée de vie de la batterie du véhicule alimenté uniquement sur batterie sera moindre car la batterie sera plus déchargée. Pour cette raison, comparer directement la durée de vie des deux sources (batterie vs. source hybride) n'est pas aisé. Nous avons donc fait l'hypothèse de comparer deux packs de batteries qui fonctionnent dans la même fenêtre de l'état de charge mais soumises à des courants différents. Il s'agit donc du cas le plus défavorable du point de vue du stockage hybride.

Ensuite nous allons expliquer comment passer du profil de mission en vitesse, qui dure 20min, au profil en courant journalier (8h de travail).

## 3. Procédure de cyclage et résultats expérimentaux

La procédure de cyclage comporte deux phases. Une première phase est constituée d'une procédure journalière (décharge des batteries sous un profil de courant imposé et recharge nocturne) et une seconde phase permet le réajustement des phases de décharge journalière et recharge, en fonction de la diminution des capacités des packs.

Un aperçu des profils (journaliers) en courant, des deux packs, est illustré dans la figure 2. Nous remarquons que le pack assisté par supercondensateurs est toujours en décharge, sous un courant RMS quasi constant. Le pack non-assisté (batterie seule) autorise la recharge par freinage récupérateur pour des états de charge inférieurs à 80%. La recharge nocturne est identique pour les deux packs, se faisant à courant constant.

La figure 3 présente le banc de cyclage et un des résultats du cyclage : l'évolution des capacités des deux batteries, une appartenant au stockage hybride (pack assisté), l'autre au pack batterie-seule (pack non-assisté).

## 4. Conclusions

L'association des supercondensateurs et batteries au plomb est bénéfique aux batteries du point de vue de la durée de vie de ces derniers. Des économies d'énergie peuvent être réalisées si le pack de supercondensateurs est choisi de manière approprié. Le management de l'énergie à bord peut conduire à la diminution des pertes dans les batteries, à moins d'échauffement et à l'augmentation de leur durée de vie – jusqu'à 40% de plus dans l'application étudiée. Néanmoins il faut améliorer la gestion d'énergie afin d'éviter un vieillissement prématuré des batteries.

Dans l'article final nous allons détailler la procédure d'obtention du profil en courant utilisé pour le cyclage des deux packs, l'évolution des profils de charge et celle du rendement énergétique des batteries, l'évolution de la capacité d'une batterie témoin dans chaque pack, des spectroscopies d'impédance et tests d'acceptabilité en charge, en début et fin de vie.

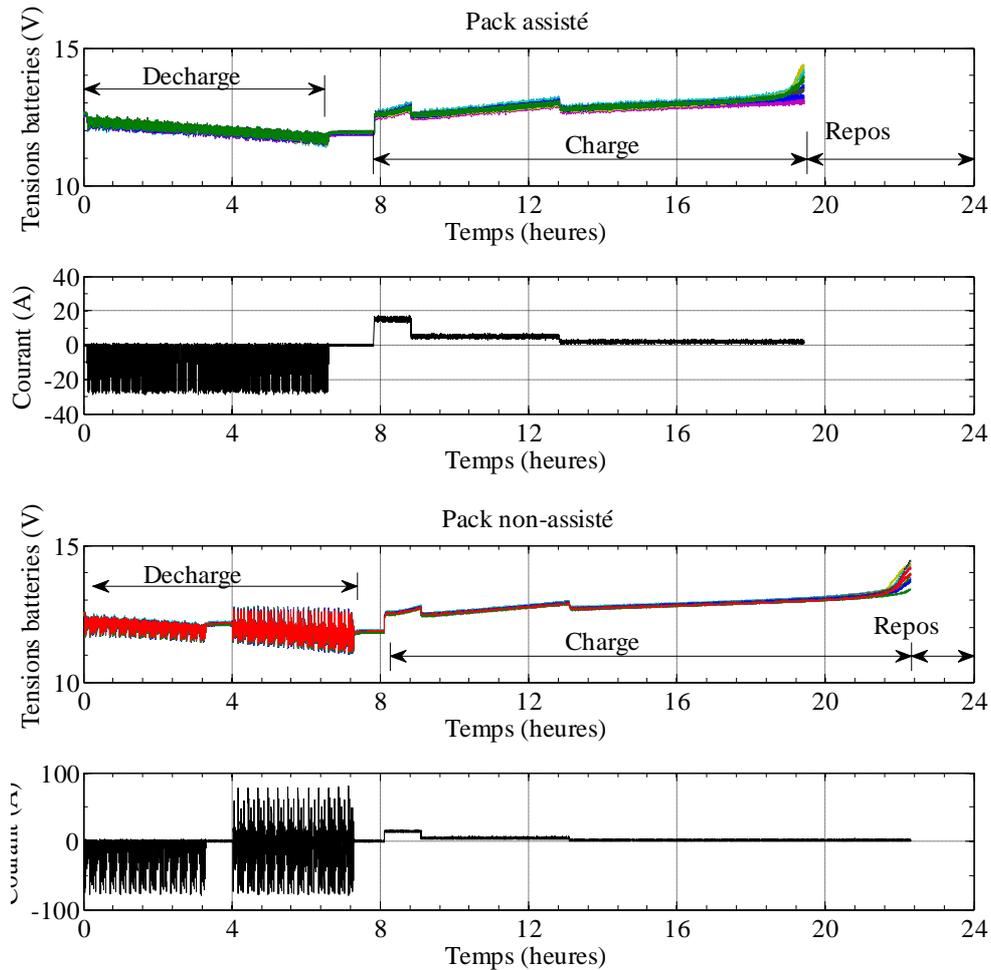


Figure 2 Profil de courant journalier appliqué (mesures)

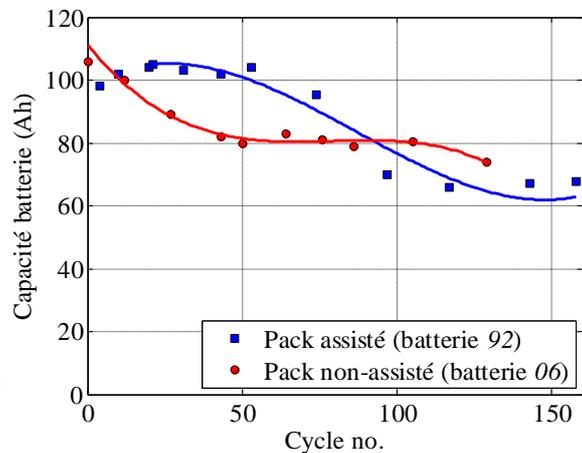


Figure 3 Banc de test (gauche) et évolution de la capacité des batteries témoin (droite)

## 5. Sélection de références

- [1] N.S. Pearre, W. Kempton, R.L. Guensler, V.V. Elango, « Electric vehicles: How much range is required for a day's driving? », *Transportation Research Part C* 19 (2011) 1171–1184.
- [2] S.J. Gerssen-Gondelach, A.P.C. Faaij, « Performance of batteries for electric vehicles on short and longer term », *Journal of Power Sources* 212 (2012) 111-129.
- [3] G. Papazov, D. Pavlov, « Influence of cycling current and power profiles on the cycle life of lead/acid batteries », *Journal of Power Sources* 62 (1996) 193-199.
- [4] A.J. Ruddell, A.G. Dutton, H. Wenzl, C. Ropeter, D.U. Sauer, J. Merten, C. Orfanogiannis, J.W. Twidell, P. Vezin, « Analysis of battery current microcycles in autonomous renewable energy systems », *Journal of Power Sources* 112 (2002) 531–546.
- [5] S. Butterbach, B. Vulturescu, Ch. Forgez , G. Friedrich, G. Coquery, « Design of a Supercapacitor-Battery Storage System for a Waste Collection Vehicle », *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2010, Lille (France).
- [6] C.R. Akli, X. Roboam, B. Sareni, A. Jeunesse, « Energy management and sizing of a hybrid locomotive », *European Conference on Power Electronics and Applications*, 2007, Aalborg (Danemark).
- [7] M. Ortúzar, J. Moreno, J. Dixon, « Ultracapacitor-Based Auxiliary Energy System for an Electric Vehicle: Implementation and Evaluation », *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 54 (4) (2007) 2147-2156.
- [8] R. Carter, A. Cruden, P.J. Hall, « Optimizing for Efficiency or Battery Life in a Battery/Supercapacitor Electric Vehicle », *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 61 (4) (2012) 1526-1533.
- [9] H.A. Catherino, J.F. Burgel, P.L. Shi, A. Rusek, X. Zou, « Hybrid power supplies: A capacitor-assisted battery », *Journal of Power Sources* 162 (2006) 965–970.
- [10] N. Shidore, T. Bohn, « Evaluation of cold temperature performance of the JCS-VL41M PHEV battery using Battery HIL », *SAE 2008-01-1333*, *SAE World Congress* 2009, Detroit (EUA).
- [11] P. Angers, « Supercapacitors – do they improve the battery life? », *21th Electric Vehicle Symposium*, 2005, Monaco.
- [12] N. Omar, J. Van Mierlo, B. Verbrugge, P. Van den Bossche, « Power and life enhancement of battery-electrical double layer capacitor for hybrid electric and charge-depleting plug-in vehicle applications », *Electrochimica Acta* 55 (2010) 7524–7531.