

Les supercondensateurs

Positionnement thématique

Physique ondulatoire, Physique interdisciplinaire, Chimie organique

Mots-clés

Mots-clés (en français)	Mots-clés (en anglais)
<i>Condensateur</i>	<i>Capacitor</i>
<i>Electrolyte</i>	<i>Electrolyte</i>
<i>Stockage</i>	<i>Storage</i>
<i>Energie</i>	<i>Energy</i>
<i>Modélisation</i>	<i>Modelization</i>

Bibliographie commentée

Aujourd'hui, les énergies fossiles représentent plus des deux tiers de la consommation finale d'énergie en France. Ces ressources, pour l'essentiel importées, pèsent sur l'économie française et nous rendent dépendants énergétiquement. Mais ces énergies sont aussi à l'origine d'une crise climatique sans précédent. Depuis le début de l'ère préindustrielle, la température moyenne à la surface du globe s'est élevée de 1°C à cause de l'augmentation de l'effet de serre, par élévation de la quantité de certains gaz d'origine anthropique [1]. La Loi sur la Transition Énergétique pour la Croissance Verte [2] fait de la lutte contre ce changement climatique l'un de ses objectifs. Elle réaffirme en particulier la nécessaire montée en puissance de la France sur les énergies renouvelables, avec en particulier une part portée à 40 % dans l'électricité produite. Compte tenu du caractère irrégulier et intermittent de ces sources, le stockage de l'énergie produite est une des solutions pour accroître leur déploiement sur le territoire. Les technologies de stockage massif de l'énergie se déclinent selon quatre catégories [3] :

- mécanique (potentielle ou cinétique) : stockage gravitaire par pompage, stockage par air comprimé ;
- thermique et thermochimique : chaleur sensible ou chaleur latente, énergie par sorption ;
- chimique : hydrogène, méthanation ;
- électrochimique et électrostatique : batteries, condensateurs.

Les objectifs actuels cherchent à améliorer les capacités de stockage, notamment celles de la voie électrostatique [4].

Un condensateur est un dispositif permettant de stocker des charges électriques, dans lequel deux conducteurs électriques, séparés par un diélectrique, sont disposés face à face. Pour accroître la capacité d'un tel dispositif, et donc la quantité d'énergie stockée, on peut agir sur deux paramètres [5] :

- la nature du diélectrique en recherchant une permittivité relative élevée ;
- la géométrie du condensateur avec des diélectriques très minces, et des conducteurs présentant d'importantes surfaces.

Ce dernier point est à l'origine du développement des supercondensateurs. Ces derniers présentent l'intérêt de se recharger beaucoup plus rapidement, et d'avoir une durée de vie plus longue que les autres systèmes électrochimiques. Ainsi, un supercondensateur peut supporter plus d'un million de cycles de charge/décharge, près de 1000 fois plus que les batteries actuelles, des durées de charge records de quelques secondes. En revanche, leur tension de fonctionnement limite la densité d'énergie électrique stockable à une dizaine de Wh/kg, soit 1/10ème de la densité des batteries. Autrement dit, le dispositif est idéal pour stocker et fournir dans un temps record de l'énergie, mais en quantité modeste [6].

La structure élémentaire d'un supercondensateur typique est constituée de deux électrodes imprégnées d'une solution électrolytique, et séparées par une membrane isolante mais perméable aux ions. Le principe de base des supercondensateurs repose sur les propriétés capacitives de l'interface entre conducteur électronique solide et conducteur ionique liquide, propriétés découvertes par le physicien Hermann Von Helmholtz en 1853. Sous l'effet de la tension appliquée, la distribution des ions de l'électrolyte au voisinage de chaque électrode crée en effet une zone de charge d'espace, ou double couche électrique, assurant le stockage de l'énergie [6]. Pour optimiser les potentialités de cette couche en termes de densité volumique d'énergie, il convient d'accroître la surface de contact entre électrode et électrolyte sans augmenter outre mesure le volume total de l'ensemble. On a recours pour ce faire à des matériaux d'électrodes poreux de très grande surface spécifique, tels que le charbon actif [7]. En outre, la puissance maximale que peut fournir le supercondensateur dépend directement de sa résistance interne. Différentes méthodes de caractérisation ont été développées pour décrire le comportement des supercondensateurs [8]. Une des voies d'amélioration de ces performances passe par l'optimisation de l'électrolyte [9].

Problématique retenue

La surface spécifique du charbon actif et le choix de l'électrolyte sont déterminants pour les performances d'un supercondensateur.

Etudier les cycles de charge/décharge à tension ou à courant constants conduit à un modèle électrique simple. Ces paramètres permettent d'évaluer les densités de puissance et d'énergie, mais dépendent fortement des contraintes électriques et de la température.

Objectifs du TIPE

Je me propose de construire un supercondensateur avec mon binôme (binôme 1). Par une étude de cycles de charge/décharge à tension ou à courant constants, je souhaite modéliser son comportement par un schéma électrique équivalent constitué d'une résistance série et d'une capacité de stockage. Je vais ensuite comparer ses performances (densités de puissance et d'énergie) avec des supercondensateurs commerciaux. Je compte enfin étudier quelques paramètres d'influence (tension ou courant de charge, température) sur leur capacité.

Références bibliographiques

- [1] R. MOSSERI et C. JEANDEL : *L'énergie à découvert*. CNRS Editions, 2013.
- [2] MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ÉNERGIE ET DE LA MER : Transition Énergétique pour la croissance verte. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/-La-transition-energetique-pour-la-.html>.
- [3] IFP Énergie NOUVELLE (IFPEN) : Stockage massif de l'énergie. <http://www.ifpenergiesnouvelles.fr/Espace-Decouverte/Les-cles-pour-comprendre/Le-stockage-massif-de-l-energie>.

- [4] Techniques de L'INGÉNIEUR : Les supercondensateurs. <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/energies-th4/accumulateurs-d-energie-42243210/supercondensateurs-d3334/>.
- [5] E. KIERLIK et J.-M. COURTY : Charges en stock. *our la Science*, (439):87–88, Mai 2014.
- [6] F. BELHACHEMI : *Modélisation et caractérisation des supercondensateurs à couche double électrique utilisés en électronique de puissance*. Thèse de doctorat, INP Lorraine, 2001. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00095893/document>.
- [7] C. LARGEOT : *Développement de supercondensateurs carbone/carbone : relation entre la taille des ions de l'électrolyte et la taille des pores de la matière active*. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2009. http://thesesups.ups-tlse.fr/529/1/Largeot_Celine.pdf.
- [8] Y. DIAB : *Étude et modélisation des supercondensateurs : applications aux systèmes de puissance*. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard, Lyon 1, 2009. <http://www.theses.fr/2009LY010042>.
- [9] E. PERRICONE : *Mise au point d'électrolytes innovants et performants pour supercondensateurs*. Thèse de doctorat, Université de Grenoble, 2011. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00630049/document>.