

et inversement proportionnelle à l'épaisseur (l'écart entre les deux surfaces). On réalise ainsi des condensateurs en enroulant dans un petit cylindre scellé deux feuilles d'aluminium séparées par une feuille d'isolant d'épaisseur micrométrique. Sur ce même principe, on fabrique des condensateurs en céramique mesurant quelques millimètres et ayant des capacités de l'ordre du microfarad.

Du charbon poreux pour emmagasiner les charges

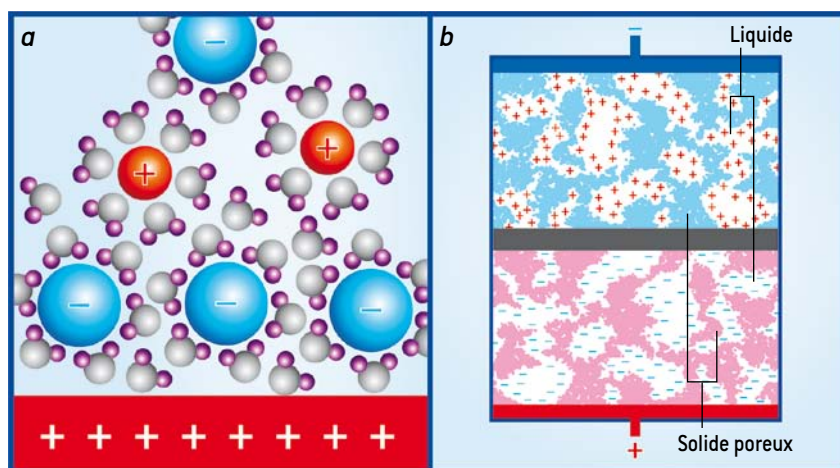
Tout cela est fort utile pour réaliser des circuits électroniques, mais ne suffit pas pour stocker une quantité substantielle de charges. Pour obtenir des capacités bien supérieures, il faut augmenter la surface du condensateur et réduire son épaisseur.

Pour ce qui est de l'épaisseur, les supercondensateurs exploitent un phénomène connu sous le nom de double couche électrochimique, qui advient lorsqu'un électrolyte (un solvant contenant des ions) se trouve en contact avec une surface chargée (voir la figure 2).

Imaginons que la charge de cette plaque soit positive. Elle attire les ions négatifs, les anions, qui viennent à proximité de la surface tandis que les ions positifs sont repoussés. Or chacun des anions est solvaté, c'est-à-dire entouré par des molécules du solvant, qui forment comme une cage protectrice autour de lui. Si la tension de la plaque n'est pas trop importante (en pratique, de l'ordre du volt), il n'y aura pas de transfert de charges entre la surface et les anions (cela évite en outre de déclencher des réactions d'électrolyse, qui requièrent des tensions seuils).

Le résultat est que, face à la plaque chargée positivement, se forme une couche d'anions, la plaque positive et la couche d'anions étant séparées par l'épaisseur d'une molécule de solvant. On a ainsi réalisé un condensateur d'épaisseur inférieure au nanomètre, soit une capacité d'une dizaine de microfarads par centimètre carré.

Reste à augmenter la surface. Comment ? En utilisant un matériau poreux, tels les charbons actifs qui peuvent pré-



2. LES SUPERCONDENSATEURS mettent à profit le phénomène de « double couche électrochimique » (a). Une surface chargée, mettons positivement, est mise au contact d'un liquide contenant des ions solvatés (entourés de molécules du solvant). Se constitue alors une couche d'anions, séparée de la surface positive par une épaisseur moléculaire. Cette configuration équivaut à un condensateur de très faible épaisseur. Dans un supercondensateur (b), cet effet de double couche électrochimique est reproduit sur toute la surface offerte par un matériau poreux baignant dans un liquide contenant des ions. La faible épaisseur des doubles couches et la grande surface effective confèrent au dispositif une très grande capacité électrique.

senter des surfaces de 1 000 à 2 000 mètres carrés par gramme – ce qui laisse espérer une capacité de 100 farads par gramme de matériau poreux. Le stockage en surface, caractéristique d'un condensateur classique, devient un stockage en volume.

Un supercondensateur typique est ainsi constitué de deux électrodes de charbon actif imprégnées d'une solution électrolytique et séparées par une membrane isolante, mais perméable aux ions (voir la figure 2). Par rapport aux batteries usuelles, l'absence de réactions chimiques autorise une stabilité de charge et de décharge bien plus importante, avec une durée de vie supérieure à un million de cycles de charge/décharge (contre quelques milliers de cycles pour une batterie lithium-ion).

Par ailleurs, comme le processus de charge ou de décharge met en jeu la mobilité des ions, mais ne transforme pas ces derniers, il peut s'effectuer en quelques secondes – durée à comparer aux minutes nécessaires à la décharge d'une batterie et aux dizaines de minutes, voire aux heures, pour la recharger. En revanche, la tension de fonctionnement (le volt) limite assez fortement la densité d'énergie

LES AUTEURS



Jean-Michel COURTLY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris. Leur blog : <http://blog.idphys.fr>

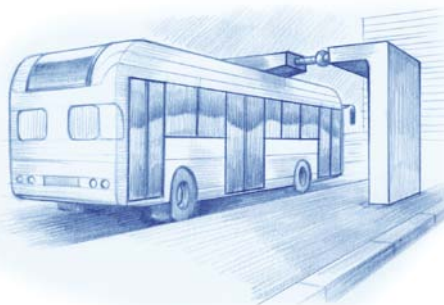
BIBLIOGRAPHIE

S. Kondrat et al., Accelerating charging dynamics in subnanometre pores, *Nature Materials*, vol. 13, pp. 387-393, 2014.

P. Jampani et al., Advancing the supercapacitor materials and technology frontier for improving power quality, *Interface*, vol. 19(3), pp. 57-62, 2010.



Retrouvez la rubrique
Idées de physique sur
www.pourlascience.fr



3. DES AUTOBUS TOUT ÉLECTRIQUES fonctionnant grâce à des supercondensateurs voient peu à peu le jour. La recharge des supercondensateurs, placés sur le toit du véhicule, est effectuée durant l'arrêt à chaque station, via une borne électrique installée en hauteur. L'énergie ainsi emmagasinée permet à l'autobus de se déplacer jusqu'à la station suivante.

électrique stockable : on atteint la dizaine de wattheures par kilogramme, soit un dixième de la densité d'énergie des batteries lithium-ion. Autrement dit, le dispositif est idéal pour stocker et fournir dans un temps record de l'énergie, mais en quantité modeste.

Parmi les nombreuses applications envisageables, on peut citer le domaine des transports (voir la figure 3) : les supercondensateurs servent désormais à récupérer l'énergie du freinage d'une voiture, qui sinon était perdue sous forme de chaleur. À la clef : des économies d'énergie pour les métros, les tramways (jusqu'à 40 pour cent), les véhicules disposant d'un système *Stop & Start* (extinction à l'arrêt et redémarrage), ou une poussée des performances des voitures de course, telle la *Toyota Supra HV-R*, ou de tourisme, telle la *Toyota Yaris Hybrid-R*. Cette dernière est équipée sous sa

banquette arrière d'un supercondensateur, de la taille d'une petite valise, qui fournit à deux moteurs électriques une puissance de 40 chevaux pendant dix secondes.

Le *Bluetram* du groupe Bolloré est plus ambitieux encore. Il s'agit d'un projet d'autobus entièrement électrique qui roulera en toute autonomie d'une station à une autre. Ses supercondensateurs, installés sur le toit, sont rechargés par un bras télescopique à chaque station en 90 secondes (à peine plus qu'un arrêt standard), pour une autonomie de plus d'un kilomètre. L'ensemble comporte 30 modules de 20 supercondensateurs, chacun pesant 500 grammes, de capacité 2 600 farads et de tension 2,7 volts, soit une énergie totale de 6 millions de joules environ. La mise en route est prévue d'ici 2015 à Singapour et à Bordeaux.

LES {Partagez les savoirs} RENDEZ-VOUS DU MUSÉUM

Entrée gratuite

Au Jardin des Plantes

Détails sur mnhn.fr, rubrique : "Les rendez-vous du Muséum"

CONFÉRENCES-DÉBATS

Lundi 12 mai — 18h

La météorite d'Orgueil : une chute exceptionnelle

M. Gounelle, professeur au Muséum, membre de l'Institut Universitaire de France

Cycle Le Parc zoologique de Paris

Lundi 19 mai — 18h

Le rôle des zoos dans la conservation de la biodiversité

J.-L. Berthier, docteur vétérinaire, ancien responsable scientifique des collections animales vivantes, Muséum

Lundi 26 mai — 18h

**La conception paysagère du Parc zoologique
Un exemple : la serre Guyane-Madagascar**

M. Mugnier, paysagiste, Atelier Jacqueline Osty & Associés,

D. Larpin, botaniste, responsable des collections végétales tropicales, Muséum

Lundi 2 juin — 18h

Le Parc zoologique de Paris, une nouvelle espèce de zoo

S. Ferreira-Le-Morvan, directrice du Parc zoologique de Paris

A. Lécu, vétérinaire et directeur scientifique du Parc zoologique de Paris

E. Quertier, responsable pédagogique et culturel du Parc zoologique de Paris

Auditorium de la Grande Galerie de l'Évolution — 36 rue Geoffroy St-Hilaire, Paris 5^e

BAR DES SCIENCES

Dimanche 25 mai — 17h30

Biodiversité des îles

A. Abdou, malacologue, Muséum

B. Pisanu, chargé d'étude, espèces invasives, Muséum

M. Guillaume, écologue, spécialiste des récifs coralliens, Muséum

F. Larrey, naturaliste, photographe, association Regard du Vivant Jean-Patrick Leleu,

délégué aux affaires européennes et internationales, Muséum

J.-P. Leduc, délégué aux affaires européennes et internationales, Muséum

Café-restaurant La Baleine — 47 rue Cuvier, Paris 5^e

