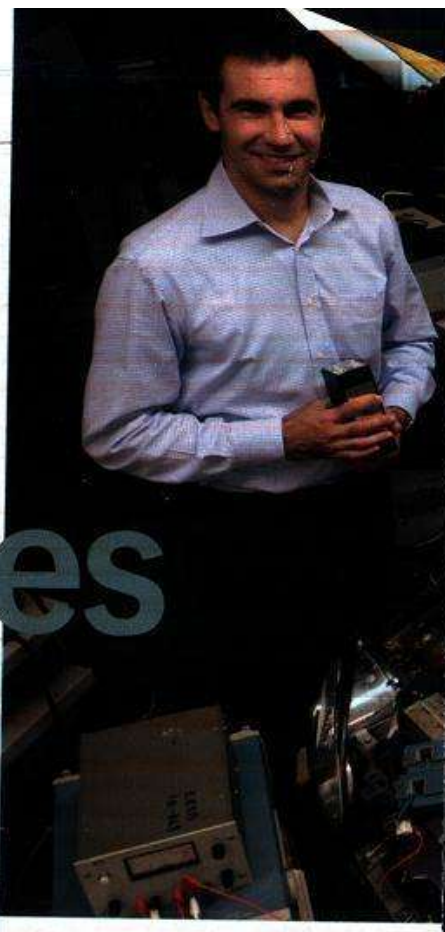


Nanotubes

Les batteries ont trouvé leur maître



Il stocke autant d'énergie qu'une batterie, se recharge en quelques secondes et ne s'use quasiment pas... L'ultra-condensateur à nanotubes conçu par le MIT est une révolution ! Qui pourrait signer la fin du règne des batteries.

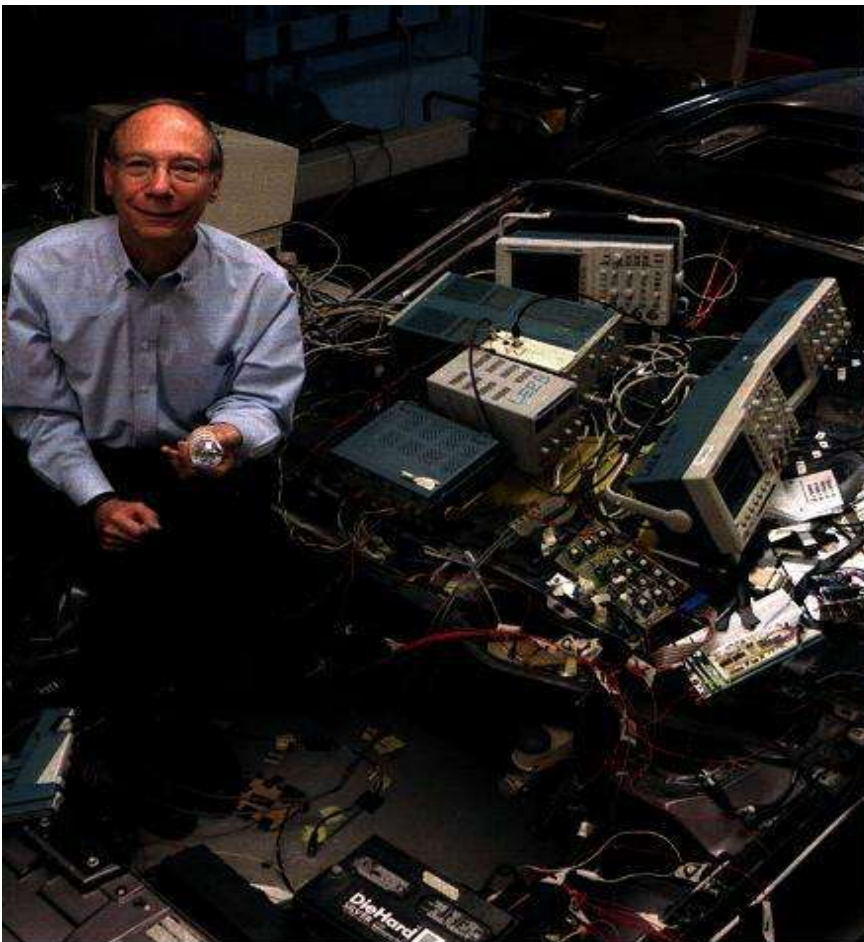
Par Roy Rubenstein

C'est en volant vers Detroit, la capitale américaine de l'automobile, que Joel Schindall a eu l'idée qui promet de révolutionner les transports. Ce professeur d'ingénierie électrique et d'informatique au Massachusetts Institute of Technology (MIT) lisait un article sur les nanotubes, molécules de carbone à la forme de cylindres très allongés. C'est une ligne anodine sur l'énorme surface potentielle offerte par une forêt de nanotubes qui a provoqué l'étincelle : et si on utilisait les nanotubes pour réaliser le condensateur ultime, un composant capable de stocker autant d'énergie qu'une batterie, mais rechargeable en quelques secondes ? Deux ans et demi plus tard, Joel Schindall, en universitaire peu enclin aux superlatifs, se permet

une pincée d'enthousiasme : "Notre condensateur peut vraiment changer le monde de l'énergie !" Rien de plus banal, pourtant, qu'un condensateur : comme une résistance et un transistor, il s'agit d'un composant de base utilisé dans quantité de circuits électroniques, des PC aux téléphones mobiles, en passant par les voitures.

CHARGÉ EN QUELQUES SECONDES

Au départ, un condensateur fournit le même service qu'une batterie : il se comporte comme un réservoir, capable de stocker ou d'émettre une charge électrique sous la forme d'un courant. Mais la similarité s'arrête là. Batterie et condensateur sont en fait complémentaires. Concrètement, le principe du condensateur, découvert



< L'invention de Joel Schindall (à droite), de Riccardo Signorelli, et de John Kassakian (absent de la photo), du MIT, devrait révolutionner le stockage d'énergie.

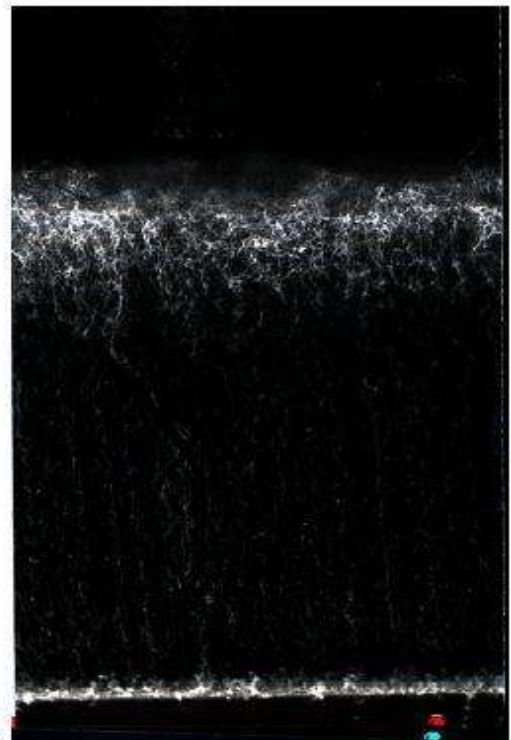
> REPÈRES

Le principe du condensateur a été découvert simultanément en 1745 par le physicien allemand Ewald von Kleist (1700-1748) et par le Néerlandais Pieter van Musschenbroek (1692-1761). Ce dernier parvint cependant le premier à mettre sa théorie en application, réalisant en 1746 le premier condensateur : une bouteille aux parois recouvertes de feuilles de métal et remplie d'eau, appelée "bouteille de Leyde", ville natale du scientifique. Mais c'est l'Américain Benjamin Franklin (1706-1790) qui a montré que l'électricité était stockée non pas dans le liquide mais sur les parois métalliques. Le terme de condensateur est né, lui, en 1782, sous la plume d'un autre géant de la physique, l'italien Alessandro Volta (1745-1827), le véritable inventeur de la pile électrique.

en 1745 (voir "Repères") est fort simple : lorsqu'elles sont soumises à une tension électrique, deux plaques métalliques séparées par un espace non-conducteur se mettent à capter les ions (particules chargées) dans une substance particulièrement riche appelée "électrolyte". Basé sur les forces électrostatiques (qui font que chaque plaque-électrode attire les ions du signe opposé), le stockage de l'énergie dans le condensateur est un processus strictement physique. La charge électrique (et donc l'énergie) contenue dans le condensateur est accrue en agrandissant la surface des plaques et en les rapprochant au plus près. Ainsi, un condensateur devient "ultra" quand le ratio entre la surface des plaques et l'espace qui les sépare est de

l'ordre du trillion (un million de millions). Dans une batterie, l'électricité est au contraire fournie par la réaction chimique des ions de l'électrolyte avec le matériau de l'électrode. Le "temps" de la physique et celui de la chimie n'étant pas comparables, les caractéristiques du condensateur et de la batterie sont très différentes, et plutôt à l'avantage du premier.

Ainsi, l'ultracondensateur se charge en quelques secondes ou minutes quand le chargement d'une batterie réclame plutôt des heures. La rapidité joue également à la décharge : un condensateur peut satisfaire rapidement de grosses demandes de puissance, alors qu'une batterie ne dé-



> Cette forêt de nanotubes multiplie la surface d'accueil des charges électriques.

LES MATÉRIAUX POREUX SONT EUX AUSSI PROMETTEURS

Si les nanotubes ont le vent en poupe, les matériaux poreux plus traditionnels n'ont pas dit leur dernier mot. Une équipe de l'Institut de nanotechnologies Drexel à Philadelphie, alliée à des chercheurs de l'université Paul-Sabatier de Toulouse, a montré que des pores de moins d'un nanomètre portaient de 5 à

8 Wh/kg la capacité théorique à stocker l'électricité dans un condensateur. Les chercheurs ont réussi à contrôler la taille des pores d'un matériau en chauffant un composé à base de carbure de titane en présence de chlore gazeux. En faisant varier la température, ils obtiennent des tailles de pores de 0,6 à

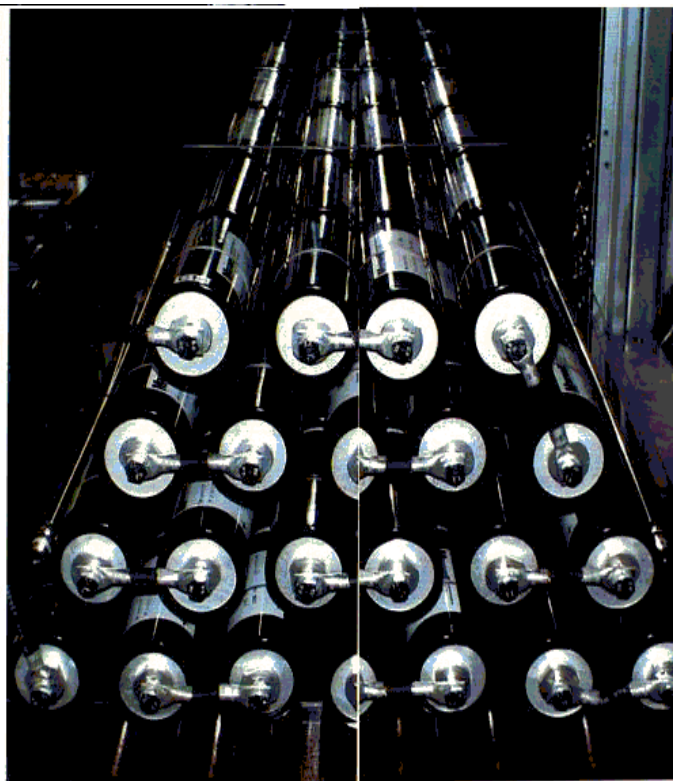
2,25 nanomètres de diamètre. "La capacité a brusquement augmenté pour les pores de moins d'un nanomètre, alors qu'on pensait que de tels pores étaient trop petits pour être accessibles aux ions", indique Patrice Simon, l'un des chercheurs. Reste à construire un prototype d'ultracondensateur. C.M.

➤ Les ultracondensateurs actuels comme celui-ci stockent dix fois moins d'énergie qu'une batterie. Plus pour longtemps...

→ livre son énergie chimique que sur une longue durée. En outre, les réactions dans la batterie se font moins bien à basse température (la chimie aime la chaleur), quand l'ultracondensateur fonctionne sans souci par les plus grands froids. Enfin, les réactions dans la batterie finissent par générer des sous-produits indésirables (comme le sulfate de plomb des batteries auto) qui s'accumulent et limitent leur durée de vie à quelques centaines de cycles. Rien de tel avec le condensateur, qui ne s'use qu'après des centaines de milliers de recharges.

Autant de points forts qui font que le condensateur est apprécié dans l'industrie automobile, notamment pour sa fiabilité et sa capacité à fournir de

qu'un seul atout, il est décisif : la capacité à stocker plus d'énergie. "Les ultracondensateurs actuels affichent des densités énergétiques de 5 à 6 watt-heures/kg quand les batteries lithium-ion (l'ion), actuellement les plus performantes, en proposent de 60 à 90", concède John Miller, vice-président des applications avancées pour les transports chez Maxwell Technologies, fabricant de condensateurs (San Diego, Californie). Mais le MIT est bien convaincu que la suprématie énergétique de la batterie n'est plus qu'une question d'années. Le handicap des ultracondensateurs est facile à



au gramme. L'espace entre plaques est rempli d'un liquide ionisé. Quand l'ultracondensateur est chargé, les ions de l'électrolyte s'accrochent à la surface de carbone de chaque plaque et sont séparés par un espace de la dimension d'un ion : guère plus d'un nanomètre ! D'où le ratio d'un trillion et les performances que l'on sait.

Mais Joel Schindall et son équipe ont trouvé bien mieux que les charbons actifs : les fameux nanotubes de carbone. Schindall les compare à un cheveu ultrafin. Sauf qu'ils sont d'excellents conducteurs d'électricité. D'où cette intuition des chercheurs du MIT : disposer les nanotubes de façon à fournir des surfaces plus importantes que celles offertes par les charbons actifs. Pour ce faire, l'opération pourrait consister à faire pousser des nanotubes de plusieurs nanomètres de diamètre et de 100 micro-



Un prototype devrait bientôt tester les performances de ces nanotubes

fortes puissances sur un délai très bref (plusieurs kilowatts en quelques secondes), par exemple pour les directions assistées, la récupération de l'énergie de freinage ou même les sons embarqués. L'engouement des industriels a beau être réel, les ultracondensateurs n'en restent pas moins cantonnés au rôle de complément de la batterie. Car si la chimie ne possède

comprendre : leur "contenance" énergétique dépend de leur capacité à fixer les ions, donc à offrir la plus grande surface d'électrodes possible. A l'heure actuelle, Maxwell Technologies recourt aux charbons actifs – du carbone rongé à l'acide pour en accentuer la porosité – fixé sur des feuilles d'aluminium pour fabriquer des plaques offrant 3 000 m² de surface

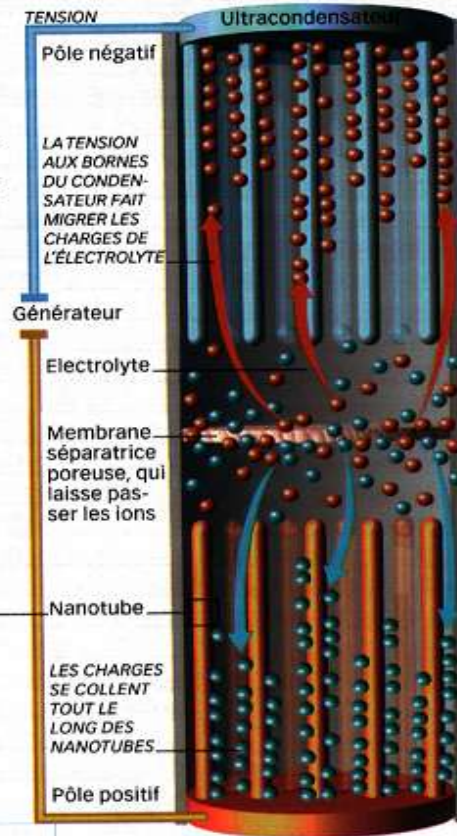
Plus d'énergie stockée grâce aux nanotubes

Le condensateur stocke du courant. Sous tension, les charges positives et négatives de l'électrolyte qu'il contient migrent vers un des pôles. La charge du condensateur dépendra du nombre de charges stockées à chaque pôle. Avec leur grande longueur, les nanotubes multiplient la surface par 20 ou 30, et donc la capacité de stockage d'énergie du condensateur.

Charges négatives 
Charges positives 



Les nanotubes sont d'énormes molécules conductrices en forme de tuyau, constituées d'atomes de carbone.



mètres de longueur — l'équivalent d'un cheveu de 2,5 m de long — sur une surface conductrice, chaque nanotube n'étant séparé de ses voisins que de 5 à 10 nanomètres. Dans le concept du MIT, les ions — attirés par les nanotubes électriquement chargés — iraient en fait s'empiler comme des billes dans les espaces disponibles.

BIENTÔT DANS NOS TÉLÉPHONES ?

"Nous avons calculé qu'un tel arrangement accroîtrait la surface d'accueil des ions de 20 à 30 fois par rapport aux modèles actuels, pour obtenir une densité énergétique équivalente à celle d'une batterie", explique Joel Schindall. Pour fabriquer cette structure, la technique choisie par l'équipe du MIT consiste à projeter une vapeur de carbone sur des "nanograines" métalliques, sur lesquelles poussent les nanotubes. Objectif réalisé au prin-

temps 2006, avec des nanotubes avoisinant les 120 micromètres. La suite ? Réaliser d'ici à six mois un prototype fonctionnel et prouver que le dispositif présente bien les performances prédites, soit, pour commencer, la moitié de l'énergie stockée dans une batterie LiIon. Restera ensuite à industrialiser le produit en grande série, ce qui devrait prendre plusieurs années.

Mais les fabricants de batteries ont déjà du souci à se faire : faute de pouvoir accélérer suffisamment les réactions au cœur des accumulateurs traditionnels, ce que les lois de la chimie rendent très difficile, toute riposte semble hors propos. Certes, la transition sera au début progressive : d'abord produits en petite série, les premiers composants seront jusqu'à dix fois plus coûteux que les batteries équivalentes, fabriquées elles en quantités colossales : 800 millions de batteries de té-

léphones portables par an, par exemple ! Joel Schindall veut d'abord destiner ses ultracondensateurs révolutionnaires à des appareils médicaux, comme les prothèses auditives, dont les batteries coûtent cher. Mais c'est bien sûr au domaine des véhicules hybrides que les ultracondensateurs du MIT apporteront le plus. "Les constructeurs automobiles concèdent d'énormes efforts pour étendre la vie des packs de batteries, affirme Joel Schindall. Leur prix élevé (de 1 000 à 2 000 dollars) ouvre une opportunité idéale pour notre produit". Plus loin encore, l'ultracondensateur à nanotubes entrera dans nos ordinateurs et téléphones mobiles. Même si ce type de stockage revient deux à trois fois plus cher, qui ne serait prêt à payer pour une autonomie égale mais avec une durée de vie plus longue, et une recharge quasi instantanée ? ■