

Matériaux pour le stockage, conversion et transport d'énergie

Présentation

Désormais, nos sociétés se caractérisent par un besoin croissant de communiquer et de se déplacer. Mais, même si les réserves pétrolières de la Terre peuvent encore subvenir aux besoins de l'humanité pour des décennies, il n'en est pas moins vrai que le défi du prochain siècle sera celui du stockage de l'énergie. En effet, des conséquences déjà palpables de notre dépendance face à la production d'énergie basée seulement sur les ressources fossiles se font sentir. Parmi celles-ci, nous citerons le réchauffement de la planète, l'augmentation dramatique des maladies pulmonaires due à ce que nous appelons désormais le « smog ». L'urgence de trouver de nouvelles sources d'énergie plus respectueuses de l'environnement devient donc une nécessité. Quels que soient les systèmes de stockage/conversion d'énergie actuels (piles à combustible, batteries, cellules photovoltaïques), le dénominateur commun est qu'ils souffrent tous du manque de matériaux adéquats. Quant à leur différence, elle se situe au niveau du système électrochimique qui génère le courant électrique et régit leur fonctionnement. La pile à combustible produit du courant électrique tant qu'elle est alimentée conjointement en comburant et carburant, ce qui est différent des batteries et des piles qui stockent, sous forme d'énergie chimique, une quantité limitée d'énergie électrique, devant être ainsi rechargées (batteries). Les cellules photovoltaïques, basées sur la conversion d'énergie solaire en énergie électrique, dépendent fortement, quant à elles, de l'ensoleillement de notre planète et du caprice de nos climats. De ces différences, il résulte que le choix des matériaux est directement lié aux technologies considérées, d'où la nécessité de les traiter séparément.

- La performance d'une **batterie** se trouve étroitement liée aux propriétés intrinsèques des matériaux d'électrodes la constituant, ainsi qu'à leur stabilité chimique/thermique vis-à-vis de l'électrolyte. À côté des accumulateurs au plomb ou Ni-Cd bien connus, deux technologies émergent. Il s'agit des technologies « nickel métal hydrure » (Ni-MH) et des technologies à ions lithium. Au travers de ces deux systèmes, nous illustrerons la très belle chimie associée d'une part, à la modification de matériaux existants en jouant sur leur composition chimique, morphologie et chimie de surface et, d'autre part, à l'élaboration de matériaux d'électrodes plus performants. Le remplacement de l'électrolyte liquide par un électrolyte polymère dans les accumulateurs à ions lithium, qui a récemment conduit à la commercialisation de la batterie plastique à ions lithium, constitue un des développements les plus notables de ces dernières années. Malgré ces avancées, de nombreux défis demeurent, dans le « design » des accumulateurs de demain, dictés par la miniaturisation incessante de l'électronique (J.-M. Tarascon, LRCS, Amiens).

- **Les piles à combustible** connaissent actuellement un réel développement dans le but d'applications pour la traction automobile, la production stationnaire d'électricité, voire pour des applications portables. Elles présentent en effet

des performances intéressantes en termes de rendement, de nuisance (bruit, polluants), de modularité, etc. On distingue cinq types principaux de piles à combustible fonctionnant à partir d'hydrogène et d'oxygène de l'air : les piles basses températures (PEMFC, AFC), les piles moyennes températures (PAFC) et les piles hautes températures (MCFC et SOFC). En outre, on doit considérer la pile à combustible DFMC qui utilise directement le méthanol, sans conversion préalable. Les piles à électrolyte polymère (PEMFC) et les piles à électrolyte solide (SOFC) seront plus particulièrement décrites en mettant l'accent sur les matériaux constitutifs (électrolyte, matériaux d'électrode, matériaux d'interconnexion), les méthodes de fabrication des cellules et les principales réalisations (J. Fouletier, IENPG, Grenoble).

- Les **cellules photovoltaïques** produisent de l'énergie qui doit être stockée par un accumulateur afin d'être restituée à temps voulu à l'utilisateur. Dans son article, D. Lincot (LECA-ENSCP, Paris) décrira les différents matériaux semi-conducteurs et architectures utilisés actuellement pour la fabrication de cellules photovoltaïques et situera/comparera ces différentes filières dans le contexte actuel (évolution des performances, type d'utilisation). À côté du silicium, largement utilisé sous forme monocristalline, polycristalline ou amorphe, on trouve les composés III-V comme le GaAs et les alliages dérivés ternaires ou quaternaires (Ga-In-Al-As-P) formant des hétérostructures épitaxiées. Viennent ensuite les composés de type II-VI (CdTe) et leurs dérivés de structure chalcopyrite (CuInSe₂) qui connaissent un développement important pour les filières couches minces. On assiste enfin au développement de recherches exploratoires, par exemple sur les cellules dites à colorants, basées sur des structures hybrides nanostructurées (organique/inorganique) et les cellules à base de polymères.

- Cependant, l'énergie étant précieuse, il nous appartient de l'utiliser et de la transporter à bon escient. La nouvelle famille de **matériaux supraconducteurs** développés dans les années 90 a laissé entrevoir, outre les applications dans le domaine de création de champs magnétiques intenses, des cavités micro-ondes et autres, la possibilité de transporter l'électricité sans effet Joule. Bernard Raveau et Claude Michel (INSRA, Caen) nous donneront une revue de l'état de l'art dans ce domaine afin de savoir si ces matériaux sont toujours un mythe ou s'ils peuvent devenir une réalité pour le transport de l'énergie. Bien que nous soyons toujours à la recherche de matériaux supra à température ambiante, on assiste à des résultats notoires d'un point de vue fondamental, avec notamment la possibilité de rendre supraconducteurs des matériaux isolants par effet d'injection d'électrons, et la découverte de la supraconductivité à 38 K dans le borure de magnésium MgB₂.

Jean-Marie Tarascon, coordinateur