

L'électrochimie et les nanosciences

Christian Amatore

La vision de tout un chacun sur l'électrochimie se cantonne généralement à la loi de Nernst sur laquelle nous avons sué pendant nos examens (sans d'ailleurs en comprendre toute la portée), et aux titrages redox ou acido-basiques que nos assistants de travaux pratiques concoctaient avec un malin plaisir. Pour enfoncer le clou, il me suffirait de rappeler les « excitants » problèmes où, mis en face d'une série de métaux et de solutions tout aussi équivoque qu'une liste à la Prévert, il fallait décider en son âme et conscience qui était l'anode et qui était la cathode lorsque cette « pile » improbable débitait... En somme, l'électrochimie dans le cursus des chimistes de ma génération présentait une telle vision à côté de sa réalité véridique que l'on en oublie même aujourd'hui que si nous pouvons utiliser la plupart de nos appareils portables, dont le fameux iPod® cher à notre Président de la République*, c'est autant grâce aux électrochimistes qu'à nos collègues physiciens.

Le domaine du stockage de l'énergie dans nos sociétés hautement mobiles est un enjeu considérable tant à l'échelle de l'individu qu'à celui de nos sociétés elles-mêmes. Le réchauffement de la planète, la diminution des réserves de combustibles fossiles, la croissance de l'électronique embarquée, etc., sont autant de facteurs cruciaux qui réclament l'invention de technologies innovantes et fiables pour le stockage et la restitution de l'énergie sous des contraintes extrêmement variables.

Malgré cette diversité des fonctions et des applications dont la société espère beaucoup, le problème électrochimique réside dans l'interface électrochimique, ce domaine de quelques angströms d'épaisseur, au sein duquel va se réaliser l'interconversion entre le courant ionique qui traverse la solution et le courant électronique qui va circuler dans les électrodes. Tout le mystère de l'électrochimie réside là. C'est la dynamique de cet interface, en fait l'un des premiers objets des nanosciences, même si on ne le reconnaît pas généralement comme tel, qui commande le succès de cette conversion, qu'elle soit à visée chimique (par exemple en électrochimie moléculaire), analytique (afin de convertir la présence d'un composé cible en une information électrique), ou qu'elle concerne la conversion renversible d'un matériau en énergie électrique.

L'interface, c'est bien entendu une affaire de solution, mais c'est surtout une affaire de matériau, et plus particulièrement de surface de matériau. La plupart des exposés de ce chapitre se focalisent sur l'importance de la structure de ces surfaces en regard de la maîtrise et de la spécialisation de leurs activités électrochimiques.

L'article de Patrice Simon et de Jean-Marie Tarascon explique ainsi comment les nanomatériaux, c'est-à-dire les matériaux d'électrodes conçus comme une collection de nano-objets, chacun nanostructuré et nanotexturé, permettent de construire des électrodes macroscopiques dotées de propriétés exacerbées, tant pour la fabrication d'accumulateurs que de supercondensateurs, en induisant des mécanismes réactionnels entièrement nouveaux et qui commencent à être bien compris.

Bertrand Gauthier-Bernard examine les propriétés remarquables du silicium poreux dont la nanotexturation de surface le rend très réactif vis-à-vis des gaz. La

fonctionnalisation de cette interface infiniment poreuse par création de liaisons silicium-hydrure dont l'hydrolyse régénère du dihydrogène permet d'envisager à terme un véritable stockage fractal de l'hydrogène destiné aux piles à combustible.

Philippe Allongue et Jean Pinson examinent quant à eux la fonctionnalisation de surfaces de métaux, d'oxydes et de semi-conducteurs par l'ancrage covalent de molécules organiques, afin d'y constituer des couches minces fonctionnelles ayant aussi bien des applications en termes de réactivité qu'en termes de protection de surfaces ou même comme traitements destinés à la furtivité.

L'article de Philippe Hapiot sur la microscopie électrochimique à balayage (SECM, « scanning electrochemical microscopy ») décrit comment cette technique issue des concepts développés pour les ultramicroélectrodes et élaborée par Alan J. Bard – qui vient d'ailleurs de recevoir le prix Wolf pour cette invention – permet d'explorer la réactivité de la plupart des interfaces électrochimiques dans toute leur dimension méso-nano. Le succès extraordinaire de la SECM tient au fait qu'elle permet d'établir un véritable « dialogue moléculaire » entre la pointe électrochimique et le matériau exploré, dont l'intensité renseigne sur l'activité et les propriétés électrochimiques locales de l'objet étudié, qu'il soit métallique, non conducteur, solide ou liquide.

Enfin, Jean-Paul Collin et Jean-Pierre Sauvage décrivent plusieurs exemples de contrôle électrochimique de « machines moléculaires » fondées sur des caténanes et des rotaxanes, dont la commutation des sites redox induit une modification topologique dynamique à l'image de l'ATP-synthase. On se prend ainsi à rêver aux possibilités que pourraient offrir un adressage et une commande individuelle de telles nanomachines greffées sur des nanoélectrodes.

Bien d'autres applications, tant des nanosciences à l'électrochimie que de l'électrochimie aux nanosciences, sont explorées aujourd'hui aussi bien pour élaborer de nouveaux matériaux que pour tenter de percer les secrets dynamiques du vivant ou le trafic des petites molécules en milieu confiné. Certaines ont été débattues lors du colloque organisé par le groupe Électrochimie de la SCF mais n'ont pas pu trouver place dans ce chapitre. Néanmoins, nous espérons que les cinq contributions réunies ici donneront au lecteur une vision optimiste de ce qui est en train d'être élaboré aujourd'hui et contribueront à la perception de l'actualité électrochimique.

* Je ne fais que me conformer ici au fait que notre Président de la République, Nicolas Sarkozy, a explicitement mentionné l'iPod® comme l'une des grandes applications de la science dans son discours prononcé à Orsay pour fêter notre collègue Albert Fert à l'occasion de son prix Nobel.



Christian Amatore

est directeur de recherche classe exceptionnelle à l'ENS* et membre de l'Académie des sciences.

* École Normale Supérieure, Département de Chimie, UMR CNRS 8640 « Pasteur », 24 rue Lhomond, 75231 Paris Cedex 05.
Courriel : christian.amatore@ens.fr