

bons conducteurs. En effet, du fait de son origine topologique, la conduction a un caractère global: un défaut local n'altère pas la circulation du courant électrique.

Jusqu'à présent, on n'avait identifié qu'une centaine de matériaux topologiques. Les physiciens pensaient ainsi que les matériaux topologiques étaient plutôt rares, des sortes d'anomalies. En outre, calculer théoriquement les propriétés topologiques d'un matériau est très difficile, ce qui empêche de réaliser une recherche systématique parmi les 200 000 structures cristallines inorganiques connues. Or une telle exploration serait nécessaire pour trouver des matériaux faciles à fabriquer, non toxiques et intéressants pour des applications en électronique à température ambiante.

En 2017, Andrei Bernevig et ses collègues ont développé une nouvelle approche, la chimie quantique topologique. Dans ce cadre, les physiciens partent des symétries de la structure cristalline d'un matériau pour déterminer le comportement des électrons et mettre en évidence les éventuelles propriétés topologiques. Elle a rendu possible une recherche systématique, qui vient d'être réalisée par deux équipes. Celle d'Andrei Bernevig a analysé 27 000 matériaux dont la structure cristalline est très bien connue. Près de 27% de ces matériaux seraient topologiques: ils ne seraient donc pas si rares!

Les deux équipes parviennent à des conclusions similaires quant à la profusion de matériaux topologiques. Cela reste cependant des prédictions et tous ces matériaux ne seront certainement pas intéressants pour des applications. Il faudra alors les tester expérimentalement. Pour faciliter la tâche des chercheurs, l'équipe d'Andrei Bernevig a créé un site internet qui les répertorie tous, avec leurs caractéristiques. Ce catalogue pourrait continuer à croître. Par exemple, la méthode utilisée ne permet pas, pour l'instant, d'analyser les matériaux magnétiques. « Pour établir l'existence de propriétés topologiques, il faut considérer 230 groupes de symétrie pour les matériaux non magnétiques, explique Nicolas Regnault; or ce nombre passe à 1651 pour les matériaux magnétiques. Il s'agit là de notre prochain défi titanesque à relever. » ■

SEAN BAILLY

T. Zhang *et al.*, *Nature*, vol. 566, pp. 475-479, 2019;
M. G. Vergniory *et al.*, *ibid.*, pp. 480-485

Catalogue en ligne: http://bit.ly/PLS498_Topo

Véhicules électriques : des batteries en Europe ?

En février dernier, la France a annoncé qu'elle apporterait 700 millions d'euros au cours des cinq prochaines années pour mettre en place une filière européenne de batteries pour voitures électriques, montant auquel s'ajouteront 1,12 milliard d'euros promis par l'Allemagne. Les commentaires de l'électrochimiste Jean-Marie Tarascon.



Propos recueillis par MAURICE MASHAAL

JEAN-MARIE TARASCON
professeur au Collège
de France, chaire
de chimie du solide
et de l'énergie

Avez-vous des informations sur la façon dont cette filière européenne de batteries serait mise en place ?

Non. Il n'y a pas eu de concertation préalable à l'annonce du gouvernement avec les chercheurs qui travaillent sur les batteries en France, et nos homologues en Allemagne n'ont eux non plus pas été consultés. À ce jour, cette affaire n'a semble-t-il impliqué que les politiques et les industriels. Espérons en tout cas que les fonds seront utilisés à bon escient. On ignore à quoi ils serviront, peut-être à la construction d'une grande usine de batteries au lithium-ion, à l'instar de la Gigafactory du constructeur américain Tesla, qui a coûté 2 milliards de dollars.

Est-ce cela la priorité selon vous ?

On peut comprendre que l'Europe cherche à acquérir une indépendance stratégique en matière de batteries pour voitures électriques, dont la production est actuellement concentrée en Asie. Mais développer une filière européenne qui puisse résister à la concurrence asiatique demandera du métier et des compétences. Surtout, cela nécessitera des engagements forts de la part des constructeurs automobiles européens, qui se fournissent aujourd'hui auprès des producteurs asiatiques. Même en mettant en place une usine géante, l'Europe ne pourra pas concurrencer l'Asie – la bataille des batteries à ions lithium (« lithium-ion ») est déjà perdue. Il faut à mon avis penser aussi à plus long terme, et en particulier investir dans des recherches sur les batteries « intelligentes ».

De quoi s'agit-il ?

Dans la société de demain, où les objets connectés seront omniprésents, les batteries occuperont une place cruciale. Or une voie prometteuse d'amélioration des batteries est non seulement

de maîtriser les interfaces électrode-électrolyte, mais d'introduire dans ces sources d'énergie des capteurs et des systèmes électroniques ou informatiques permettant de contrôler de façon optimale leur état de santé et leur fonctionnement. Cela permettrait par exemple d'allonger la durée de vie des batteries, de leur donner une seconde vie...

Les batteries au lithium-ion assurent une autonomie de l'ordre de 300 kilomètres avec des durées de recharge de plusieurs heures. Peut-on s'attendre à des améliorations notables ?

Il y aura des progrès, mais peu. On sait aujourd'hui que la technologie lithium-ion est presque à son maximum, et il faudra trouver autre chose pour franchir de nouveaux paliers.

La technologie sodium-ion par exemple ?

Nous développons cette technologie, notamment avec la société Tiamat. Outre la disponibilité du sodium, l'atout est la puissance, mais le sodium-ion ne sera jamais compétitif en termes de densité d'énergie électrique. Le marché des batteries au sodium-ion ne concernera donc pas les voitures électriques, mais plutôt des applications exigeant une forte puissance et une charge rapide, par exemple des trottinettes électriques ou le stockage d'électricité issue de sources renouvelables et intermittentes.

Qu'est-ce qui pourrait alors remplacer les batteries au lithium-ion ?

Il existe aujourd'hui un engouement pour les batteries « tout solide », dont l'électrolyte est solide et non liquide. On pense que des batteries au lithium-métal (électrodes en lithium, électrolyte métallique) pourraient atteindre des performances supérieures de 30 % à celles des batteries au lithium-ion. Mais on ignore si elles verront le jour : on ne maîtrise pas encore assez les interfaces électrode-électrolyte, qui se dégradent en raison de contraintes mécaniques et de la croissance de cristaux dendritiques de lithium (un problème récurrent depuis trente ans, qui a suscité le développement du lithium-ion). ■