

ART & SCIENCE

Vermeer, la carte et le castor

Dans L'Officier et la jeune fille riante, un homme porte un chapeau en feutre de castor, matériau précieux dont la confection a participé à la disparition des espèces européennes. À l'arrière-plan, une carte intrigue...

Loïc MANGIN

Pays-Bas, vers 1658. Les Provinces-Unies (l'ancien nom des Pays-Bas) ont déclaré leur indépendance vis-à-vis du trône d'Espagne depuis près de 80 ans, et elle est quasi effective en 1609. Les combats cessent définitivement en 1648 et les militaires, de retour à la vie civile, ont tout loisir de conter fleurette. En 1658 donc, c'est un tel épisode que peint Johannes Vermeer (1632-1675) dans *L'Officier et la jeune fille riante* (voir page ci-contre), une toile conservée à New York.

De dos, un militaire vêtu d'un uniforme rouge éclatant et d'un grand chapeau noir, sur lequel nous reviendrons, disserte avec la jeune fille qui le reçoit et dont il espère sans doute les faveurs. Précisons que l'habitude de se découvrir en présence d'une demoiselle n'était pas encore adoptée. Sur le mur, au fond, une carte étonne.

Elle est intitulée *La Topographie nouvelle et très exacte de toute la Hollande et de la Frise occidentale*. Elle représente la partie occidentale, donnant sur la mer, des nouvelles Provinces-Unies (la Hollande et la Frise en sont deux), l'Ouest étant au sommet de la carte. Cette orientation reflétait les préoccupations majeures de l'époque : les Provinces-Unies sont « tournées » vers la mer du Nord, le large, ce qui est naturel pour un peuple de marins qui a conquis le monde. On retrouve cette carte dans d'autres œuvres de Vermeer, telle *La Femme en bleu lisant une lettre*.

On constate également que les terres sont en bleu et les mers en marron. Pourquoi Vermeer a-t-il interverti les couleurs ? On l'ignore, mais Timothy Brook, historien à l'Université

d'Oxford, s'interroge : le peintre fait-il allusion au changement de prestige des militaires dû au retour de la paix ?

Venons-en au chapeau. À cette époque, au milieu du XVII^e siècle, tous les Hollandais en portaient, du simple bonnet mou, nommé *klapmuts*, au plus prestigieux couvre-chef tel celui porté par l'officier. L'objet était en feutre, une étoffe constituée de poils agglomérés d'animaux, ici du castor. Le feutre de castor était le matériau à la mode et tout individu de haut statut social se devait d'avoir un chapeau fabriqué en cette matière.

La folie des chapeliers aurait résulté des vapeurs toxiques de mercure.

La matière première nécessaire à la fabrication de ce feutre n'est pas la fourrure entière de l'animal, mais le sous-poil (des poils courts et denses distincts des poils longs). En effet, au microscope, on observe des écailles (des arpillons) qui se chevauchent sur toute la surface de ces fibres. Ces aspérités favorisent l'agglomération et donc le feutrage. De fait, le feutre de castor est résistant, flexible et il garde sa forme même mouillé.

Les chapeliers faisaient mijoter ce sous-poil dans un mélange d'acétate de cuivre, de gomme arabique et de mercure afin d'obtenir, après foulage et séchage, un feutre d'excellente qualité dédié à la fabrication des meilleurs chapeaux. Notons que la folie souvent

attribuée aux chapeliers résultait probablement des vapeurs toxiques de la mixture.

Jusqu'au XV^e siècle, on utilisait des castors d'Europe occidentale, mais l'animal fut victime de son succès et de la disparition de son habitat naturel. On se tourna alors vers les castors scandinaves, mais les mêmes causes eurent les mêmes effets, et ce fut la fin des chapeaux en castor.

Au XVI^e siècle, les chapeliers n'eurent plus à leur disposition que le feutre de laine, un matériau plus grossier. On ajoutait parfois des poils de lapin, pour faciliter l'agglomération, mais le feutre obtenu était fragile. Enfin, le feutre de laine absorbe l'eau et se déforme dès qu'il est mouillé, à l'inverse du feutre de castor. Le *klapmuts* des Hollandais de basse condition était en feutre de laine.

La situation changea à la fin du XVI^e siècle quand se développa le commerce avec les Amérindiens. Le Français Samuel de Champlain (1567-1635) fut l'un des précurseurs de ce marché. Dans les années 1580, quand les premières peaux arrivèrent en Europe, la demande explosa et ce fut le renouveau des chapeaux en castor. Ces articles se vendaient à prix d'or, à un point tel que l'on vit s'épanouir un marché du « castor d'occasion ». Ces pratiques furent néanmoins vite contrôlées par les autorités qui redoutaient les maladies dues aux poux.

Vermeer, qui jouissait d'un poste prestigieux dans la cité de Delft, avait sans doute lui aussi un chapeau en feutre de castor. Peut-être même est-ce celui qui est peint ! ■

T. Brook, *Le chapeau de Vermeer*. Le XVII^e siècle à l'aube de la mondialisation, Payot, 2010.



© Corbis

IDÉES DE PHYSIQUE

Lire un disque avec des toupies électroniques

En jouant avec les propriétés magnétiques des électrons, on a pu multiplier par presque 1 000 la capacité des disques durs.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

La capacité d'un disque dur de micro-ordinateur (et de certains baladeurs) atteint aujourd'hui facilement le téraoctet, soit 1 000 gigaoctets. En 15 ans, elle a augmenté d'un facteur presque égal à 1 000 ! Cette croissance spectaculaire repose sur des ruptures technologiques. Ainsi, le procédé de lecture des disques modernes utilise un principe physique bien différent de celui des bandes magnétiques et des premiers disques durs. Il s'agit de l'effet dit de magnétorésistance géante, dont la découverte a valu en 2007 le prix Nobel de physique au Français Albert Fert et à l'Allemand Peter Grünberg. Ce phénomène entre dans le cadre de la spintronique, nouvelle forme d'électronique où les propriétés magnétiques de l'électron – son « spin » – sont mises à profit.

Exploiter le spin de l'électron

Qu'est-ce qu'une magnétorésistance ? Lorsque nous imaginons un électron, nous pensons d'emblée à une particule chargée dont la manipulation est à la base de l'électricité et de l'électronique. Sous l'action d'un champ électrique, les électrons libres des matériaux conducteurs se déplacent, ce qui forme un courant électrique. Cependant, au cours de leur mouvement, les électrons subissent des collisions avec les impuretés, les défauts du matériau ou les atomes en vibration. Leurs trajectoires s'apparentent alors plus à une succession de zigzags qu'à un long fleuve tranquille, propriété qui, à notre échelle, se traduit par la résistance électrique.

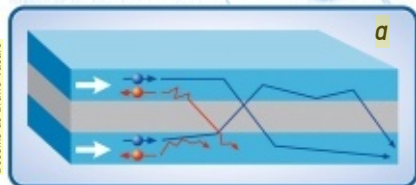
Quel est l'effet d'un champ magnétique ? Si l'on s'en tient à l'électron comme simple

particule chargée, on prévoit que les électrons vont tourner en hélice autour de l'axe du champ magnétique et, par conséquent, subir plus ou moins de collisions selon les orientations du champ et du courant : il en résultera une variation de la résistance électrique en fonction du champ magnétique. Mais cet effet de magnétorésistance, observé dès 1856 par lord Kelvin, n'a qu'une amplitude de quelques pour cent.

L'histoire ne s'arrête pas là. On sait depuis les années 1920 que l'électron se comporte

aussi comme un tout petit aimant, susceptible de s'orienter. Il a une sorte de rotation propre, mesurée par un « spin » et à laquelle est associé un moment magnétique, proportionnel au spin. Le spin de l'électron n'a que deux valeurs possibles et quand on le mesure selon un axe (quel qu'il soit), il pointe soit dans un sens (vers le « haut », $\uparrow$), soit dans le sens opposé (vers le « bas », $\downarrow$).

Les collisions subies par les électrons perturbent peu leurs spins. La distance entre deux collisions successives



1. DANS UN SANDWICH où les deux couches magnétiques ont des aimantations (flèches blanches) dirigées dans le même sens (a), les électrons (en bleu foncé) dont le moment magnétique est orienté comme l'aimantation subissent peu de collisions : la résistance électrique correspondante est faible. En revanche, pour les électrons (en rouge) de moment magnétique opposé à l'aimantation, les collisions sont nombreuses et la résistance correspondante élevée. Mais la résistance électrique globale est faible (la facilité avec laquelle le cycliste roule sur les deux pistes en est une métaphore). Lorsque les deux couches magnétiques ont des aimantations opposées (b), tous les électrons, quelle que soit l'orientation de leur moment magnétique, finissent par pénétrer dans une couche où l'aimantation est de sens opposé à leur moment magnétique et où ils subissent de nombreuses collisions. Il s'ensuit une résistance électrique globale élevée : aucune des deux classes d'électrons ne circule aisément dans la structure en couches.

étant de quelques nanomètres, le spin reste inchangé – mais seulement à cette échelle de longueur. C'est pourquoi il ne peut être exploité qu'avec des dispositifs de taille nanométrique, ce qui n'est plus un obstacle avec le développement récent des nanotechnologies.

Pour avoir affaire à des électrons ayant des spins alignés, il suffit d'utiliser des matériaux magnétiques conducteurs. Dans la plupart des matériaux, les électrons sont orientés aléatoirement et l'on trouvera autant d'électrons $\uparrow$ que $\downarrow$. En revanche, dans les matériaux magnétiques, une fraction notable des spins électroniques pointent dans la même direction et il en résulte une aimantation macroscopique. Par ailleurs, dans les matériaux magnétiques conducteurs usuels, tels le fer, le cobalt, le nickel et leurs alliages, les électrons intervenant dans le magnétisme sont les mêmes que ceux en jeu dans la conduction électrique. Le courant électrique s'accompagne donc d'un « courant de spin », ou plutôt de deux courants, correspondant aux deux orientations du spin des électrons.

Lire des bits avec un sandwich magnétique

L'émergence de la spintronique, qui exploite les courants de spin, est entièrement reliée à la propriété d'origine quantique suivante : lorsqu'il y a dissymétrie entre les populations de spins $\uparrow$ et $\downarrow$, la fréquence des collisions de l'électron dépend de l'orientation de son spin. Pourquoi ?

Lors d'une collision, l'électron change de vitesse, d'énergie, etc. Comme l'impose le principe d'exclusion de Pauli, deux électrons ne peuvent pas se trouver dans un même état. Par conséquent, toute collision qui amènerait un électron dans un état déjà occupé par un autre électron est interdite. Or, dans un conducteur magnétique contenant par exemple plus d'électrons $\uparrow$ que $\downarrow$, il est beaucoup plus difficile pour un spin $\uparrow$ de trouver une place libre parmi les états non occupés par ses semblables que pour un spin $\downarrow$. Par conséquent, les électrons dont le moment magnétique est orienté dans le sens de l'aimantation macroscopique subis-

sent moins de collisions que ceux d'orientation opposée (jusqu'à 20 fois moins par exemple dans le nickel).

Ainsi, la résistance électrique n'est pas la même pour le courant des électrons $\uparrow$ et le courant des électrons $\downarrow$. Voyons comment cette propriété conduit à l'effet de magnétorésistance géante. Ce dernier fait appel à un sandwich de deux couches magnétiques (du fer) encadrant une couche non magnétique (du chrome), l'épaisseur des couches étant de quelques nanomètres.

Imaginons d'abord que les deux couches magnétiques soient aimantées dans le même sens, disons $\uparrow$ (voir la figure 1). Le courant $\uparrow$ qui parcourt le sandwich rencontre dans chacune des trois zones une faible résistance, qui court-circuite la forte résistance subie par le courant $\downarrow$: on mesure aux bornes du dispositif une résistance peu élevée.

Que se passe-t-il si les couches magnétiques sont aimantées dans des sens opposés ? Le courant $\uparrow$ rencontre une faible résistance dans la première couche magnétique, mais une forte résistance dans la seconde. C'est l'inverse pour le courant $\downarrow$. *In fine*, les deux courants subissent en circulant dans le sandwich une résistance élevée.

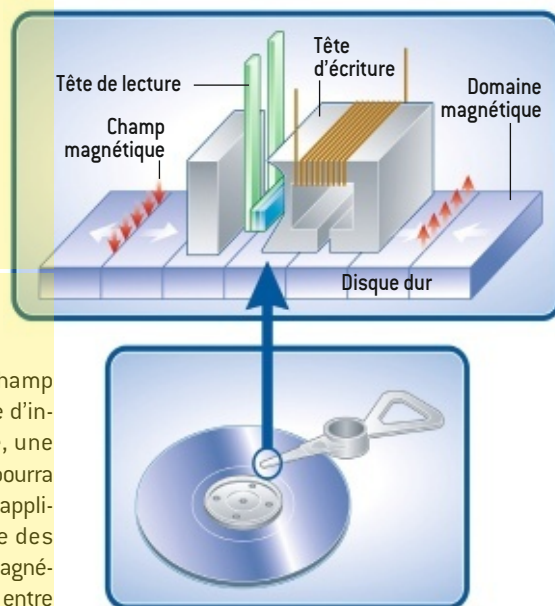
Ainsi, en jouant sur l'orientation relative des aimantations des deux couches magnétiques, on modifie la résistance du dispositif. Un champ magnétique extérieur étant capable d'inverser l'aimantation d'une couche, une mesure de la résistance du sandwich pourra renseigner sur le champ magnétique appliqué. C'est le principe de la lecture des disques durs modernes, où le champ magnétique est celui qui émerge à la frontière entre deux domaines du disque d'aimantations opposées (voir la figure 2).

Pour obtenir une haute sensibilité au champ, il faudrait multiplier le nombre de couches en sandwich si le courant est perpendiculaire. Mais un courant parallèle aux couches est une configuration plus favorable. Elles sont en effet assez minces pour que, lorsqu'un électron circule d'une borne à l'autre, il explore toutes les couches au gré de ses collisions : on a donc bien une

LES AUTEURS



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



2. DANS LES SYSTÈMES à disques durs d'aujourd'hui, la tête de lecture comporte un sandwich de couches magnétiques (en bleu). L'aimantation de l'une des couches est fixée, tandis que celle de l'autre couche est déterminée par le champ magnétique à la surface du disque. Ce champ magnétique est présent à la frontière entre deux domaines magnétiques d'aimantations opposées, et a deux sens possibles. La résistance électrique de la tête de lecture dépend donc du champ magnétique rencontré sur le disque, champ qui lui-même code l'information.