



EMPLACEMENT DE L'EXPLOSION

LE 20 OCTOBRE 1964, À LOB NOR, EN CHINE

Lorsque les différentes nations se sont mises à construire des armes de destruction massive, les déserts et les régions reculées sont devenus des sites d'essais. Les analystes ont toujours scruté avec attention les photographies de telles régions. En décembre 1961, des photographies de la région de Lob Nor, dans le désert du Taklimakan, dans l'Ouest de la Chine, ont révélé l'existence d'une route circulaire de quatre kilomètres de diamètre. La situation et les dimensions de la route suggéraient une appartenance à un futur site d'essais nucléaires : la zone délimitée par la route était suffisamment vaste pour être le siège d'un essai nucléaire de surface laissant la route intacte. Par la suite furent construits un terrain d'aviation, une caserne et des installations logistiques, puis vint s'ajouter une tour de 100 mètres de

hauteur. Lorsque les lignes de communication et d'instrumentation enterrées furent reliées à des camions et à des bunkers équipés d'électronique, l'essai nucléaire était imminent.

Afin de prendre la vedette au gouvernement chinois, le président Lyndon Johnson demanda au ministre des Affaires étrangères d'annoncer publiquement qu'il savait que «la Chine communiste était sur le point de faire exploser son premier dispositif nucléaire». L'analyse de la photographie du 8 octobre montra que tout était prêt pour l'essai et que le personnel et les équipements avaient été évacués de la zone de tir. La surprise fut faible lorsque les Chinois firent exploser une bombe atomique de 28 kilotonnes, le 16 octobre 1964. Les images prises quatre jours plus tard par des satellites KH-4 montrent les effets d'un essai atmosphérique à l'endroit où s'élevait précédemment la tour.

observé les conséquences de catastrophes industrielles ou naturelles et la pollution de l'atmosphère, des ruisseaux et des rivières. Hiver après hiver, nous avons assisté au noircissement de la neige par la pollution dans un rayon de 150 kilomètres autour de Magnitogorsk, un centre russe de production d'acier. Nos observations donneraient matière à réflexion à quiconque nourrit l'illusion que notre Terre peut absorber sans dommages tous les ravages que lui fait subir l'homme.

La publication des centaines de milliers d'images Corona offre une occasion rare de mieux comprendre notre merveilleuse planète bleue, perpétuellement changeante, et ses habitants. J'ai par exemple suivi l'extension permanente du Sahara vers le Nord, grâce à des images prises périodiquement

durant la fin des années 1960. Les mêmes images montrent les sites des anciens camps romains et m'ont permis de comparer leurs positions avec ceux de la Légion étrangère française.

Nous n'avons fait que jeter un coup d'œil furtif sur la plupart de ces images. La navigation sur cet océan de données encore inexploré sera certainement captivante.

Dino BRUGIONI est l'un des fondateurs du Centre américain d'interprétation photographique.

Dino A. BRUGIONI et Robert G. POIRIER, *The Holocaust Revisited : A Retrospective Analysis of the Auschwitz-Birkenau Extermination Complex*, Central Intelligence Agency (ST-79-10001), 1979.

William E. BURROWS, *Deep Black : Space Espionage and National Security*, Random House, 1986.

Chris POCOCK, *Dragon Lady : The History of the U-2 Spyplane*, Airlife Publishing / Motorbooks International, 1989.

Jay MILLER, *Lockheed's Skunk Works : The First Fifty Years*, Midland Publishing, Leicester, 1993.

Corona : America's First Satellite Program, sous la direction de Kevin C. Ruffner, Central Intelligence Agency History Staff and the Center for the Study of Intelligence, 1995.

Robert A. McDONALD, *Corona : Success for Space Reconnaissance, a Look into the Cold War and a Revolution for Intelligence*, in *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 61, n° 6, pp. 689-720, juin 1995.

Les électrons dans un monde à deux dimensions

STEVEN KIVELSON • DUNG-HAI LEE • SHOU-CHENG ZHANG

Confinés dans un plan, les électrons peuvent manifester l'effet Hall quantique, un phénomène surprenant dont on comprend le lien avec la supraconduction.

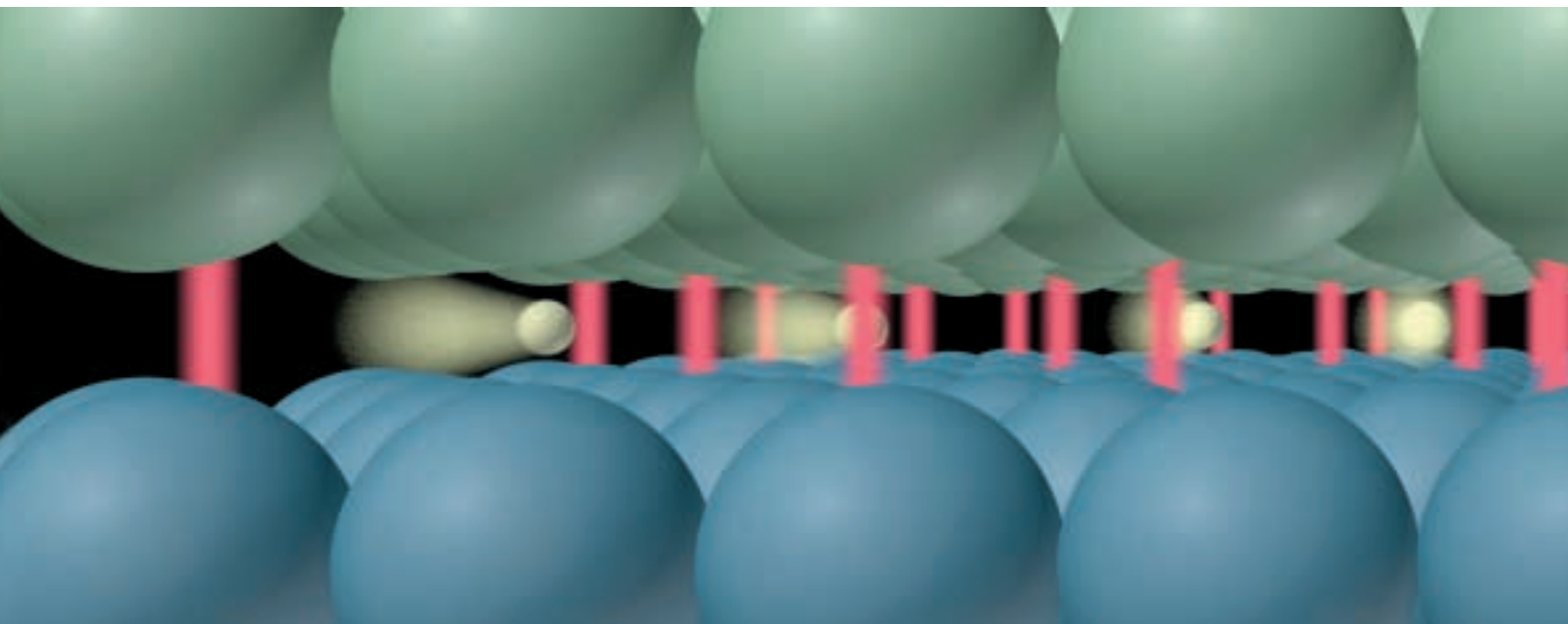
Depuis l'antiquité grecque, toutes les disciplines scientifiques ont pour objet principal de trouver un ensemble minimal de principes fondamentaux qui expliquent des phénomènes naturels variés. Cette philosophie réductionniste a bien réussi dans certains domaines, telle la physique des particules : les théoriciens de cette discipline ont regroupé toutes les particules en quelques familles et ils ont exprimé les lois fondamentales de la physique en fonction des interactions entre particules.

Les physiciens de la matière condensée ont eu moins de succès : les recherches faites au cours de ce siècle sur le comportement des électrons dans les solides ont révélé des états différents de

la matière, caractérisés par une myriade d'organisations des électrons. Habituellement, les solides sont soit des isolants, qui résistent fortement au passage du courant électrique, soit des métaux, qui conduisent bien le courant, avec une faible résistance. Dans certaines circonstances, des solides peuvent passer dans un état supraconducteur, où le courant électrique circule sans aucune perte. Les différentes interprétations théoriques de ces états ont été aussi variées que les états eux-mêmes.

Une unification pourrait toutefois apparaître, car les physiciens ont découvert un lien entre la supraconduction et un autre phénomène, très étudié en physique de la matière condensée : l'effet Hall quantique. Cet effet se pro-

duit lorsque les électrons sont soumis simultanément à trois conditions : ils sont piégés dans une couche mince, entre deux cristaux semi-conducteurs, de sorte qu'ils ne se déplacent que dans un plan ; ils sont refroidis à des températures proches du zéro absolu ; et ils sont dans un champ magnétique intense, perpendiculaire au plan de propagation. Le champ magnétique exerce sur les électrons une force qui les pousse perpendiculairement à leur direction de propagation, ce qui crée une différence de potentiel, nommée tension de Hall. Quand on intensifie le champ magnétique, cette tension croît par paliers. Ce phénomène, nommé effet Hall quantique, est la signature d'un nouvel état de la matière.



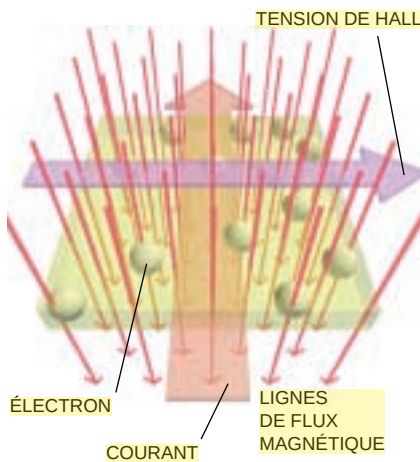
Lors de la découverte de l'effet Hall quantique, en 1980, les physiciens ont trouvé que les propriétés des électrons, dans ce nouvel état, étaient très différentes de celles de tous les autres états connus de la matière. Les dernières recherches dans ce domaine ont néanmoins révélé une relation entre l'effet Hall quantique et la supraconduction. Des études de cette relation ont même mené à la prédiction, confirmée par des expériences récentes, d'autres états de la matière jamais observés. Même si l'effet Hall quantique n'a pas d'application immédiate, son étude a stimulé la mise au point de concepts et d'outils théoriques nouveaux. Ces outils pourraient avoir de grandes répercussions en physique, de la même façon que la théorie de la supraconduction a fait progresser la physique des particules ou que l'étude des transitions de phase a permis de mieux comprendre l'Univers primordial. Enfin, les nouveaux principes pourraient être utiles en microélectronique, parce qu'ils permettraient de décrire les phénomènes dans des composants si petits, que les interactions entre les électrons devront être prises en compte.

La découverte de l'effet Hall quantique

L'effet Hall quantique est une manifestation inhabituelle d'un phénomène qui fut découvert par le physicien américain Edwin Hall au XIX^e siècle : lorsqu'une tension est appliquée entre les extrémités d'un fil conducteur, un cou-

rant y circule ; si le fil est dans un champ magnétique, les électrons en mouvement sont déviés latéralement, de sorte qu'ils s'accumulent d'un côté du fil.

Cette asymétrie produit une tension entre les deux bords du fil, perpendiculaire à la direction du courant. Pour la détecter, on relie les bords du fil à un voltmètre. L'intensité du courant étant fixée, la tension de Hall aug-



1. L'EFFET HALL QUANTIQUE se manifeste dans un plan entre deux semi-conducteurs refroidis à une température de quelques kelvins (ci-dessous) ; les atomes à la surface des semi-conducteurs sont représentés par des sphères vertes et bleues. Quand on applique un champ magnétique (lignes rouges), les électrons mobiles (petites sphères jaunes) se répartissent de façon à être plus nombreux d'un côté (à droite) que de l'autre. Cette redistribution des charges électriques engendre une différence de potentiel (la tension de Hall), perpendiculaire au courant (ci-dessus). L'effet Hall quantique correspond à une augmentation par paliers de la tension de Hall lorsque le champ magnétique croît.

mente régulièrement avec l'intensité du champ magnétique. Ce phénomène est l'effet Hall classique.

En 1980, Klaus von Klitzing et ses collègues du Laboratoire des champs magnétiques intenses de Grenoble découvrirent que, dans des circonstances particulières, l'effet Hall n'obéit plus aux règles classiques. Les progrès de la physique du solide avaient permis de confiner un ensemble d'électrons entre deux semi-conducteurs cristallins ; lorsque K. von Klitzing et ses collègues ont refroidi ces électrons à une température de un ou deux kelvins, ils ont observé que la tension de Hall n'augmentait pas régulièrement avec l'intensité du champ magnétique : elle augmentait par paliers, sa valeur ne variant pas dans de petits intervalles d'intensité du champ magnétique (voir la figure 2). De plus, la tension longitudinale – c'est-à-dire la tension dans le sens du courant – s'annulait presque lorsque la tension de Hall atteignait ces paliers. Autrement dit, les électrons sur le plan étaient devenus « parfaitement conducteurs » (ils ne sont pas supraconducteurs, car des électrons supraconducteurs expulsent un champ magnétique, ce que ne font pas ces électrons parfaitement conducteurs).

Plus étonnant encore, on a observé que la grandeur nommée conductance de Hall prenait une valeur particulière à chaque plateau. La conductance de Hall est le quotient de l'intensité du courant longitudinal par la tension de Hall (la conductance est l'inverse de la résistance). K. von Klitzing et

