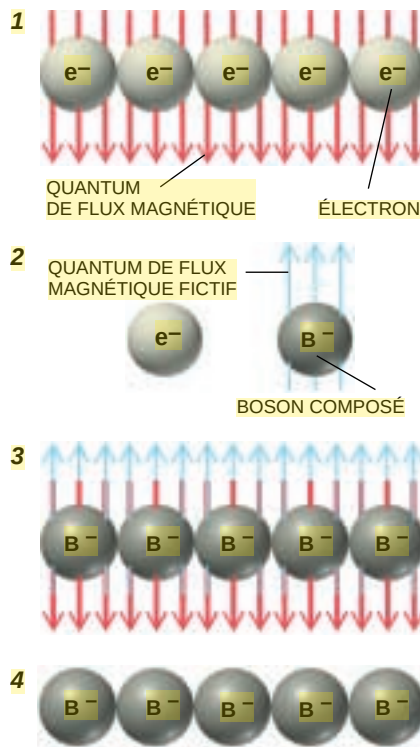


la supraconduction, nous avons obtenu une nouvelle description de l'effet Hall quantique. Tout en unifiant deux phénomènes apparemment différents, cette analogie permet d'appliquer les connaissances de la supraconduction à l'effet Hall quantique. Cette approche, complémentaire de celle de R. Laughlin, reprend beaucoup de ses idées, mais elle s'en distingue parce qu'elle étudie des phénomènes macroscopiques réels du système physique plutôt que par les propriétés microscopiques d'un système idéal.

Bosons et fermions

Nous avons été mis sur la piste de cette analogie par Steven Girvin et Allan MacDonald, de l'Université d'Indiana, qui ont proposé une nouvelle interprétation des fonctions d'onde utilisées pour expliquer l'effet Hall quantique : ils ont imaginé que ces fonctions d'onde pouvaient représenter l'état supraconducteur d'un type de particule imaginaire, nommée boson composé.

Les physiciens classent les particules, d'après leur comportement statistique, en deux familles : les bosons et les fermions. La fonction d'onde décrivant un ensemble de bosons reste inchangée lorsque deux des particules sont échangées ; en revanche, la fonction d'onde des fermions change de signe lorsqu'on permute deux particules.



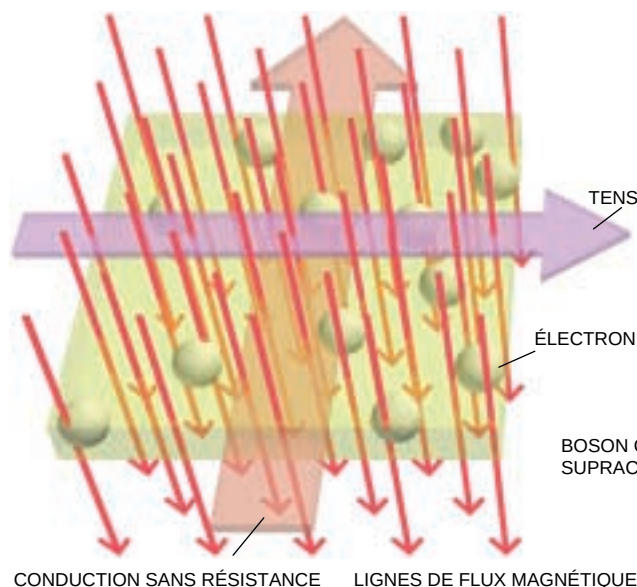
3. POUR EXPLIQUER L'EFFET HALL QUANTIQUE, on peut remplacer les électrons par des bosons composés. Par exemple, lorsque les conditions physiques correspondent à un facteur de remplissage égal à $1/3$, il y a trois quanta de flux (une mesure de l'intensité du champ magnétique) par électron (1). Les auteurs ont proposé de remplacer ces électrons par des bosons composés, des particules fictives ayant trois quanta de flux magnétique fictif (2) en sens inverse du flux magnétique réel (3). On annule ainsi le champ magnétique que chaque boson perçoit (4), ce qui facilite la modélisation de l'effet Hall quantique.

Les électrons, les protons et les neutrons sont des fermions. Un atome, qui contient ces trois types de particules, peut aussi être traité comme une seule particule composée. Cette particule se comporte comme un boson ou comme un fermion selon le nombre total de ses constituants : si ce nombre est impair, l'atome se comporte comme un fermion ; s'il est pair, comme un boson. Par exemple, l'isotope de l'hélium nommé hélium 4, composé de deux électrons, de deux protons et de deux neutrons, est un boson. En revanche, l'hélium 3, composé de deux électrons, de deux protons et de seulement un neutron, est un fermion.

Bosons et fermions diffèrent de plusieurs façons, mais la différence que nous avons surtout utilisée est leur façon d'occuper les états quantiques. Les fermions obéissent au principe d'exclusion de Pauli : deux fermions ne peuvent occuper le même état et, notamment, ils ne peuvent pas se trouver simultanément au même endroit. Cette loi ne s'applique pas aux bosons : plusieurs bosons peuvent cohabiter dans le même état.

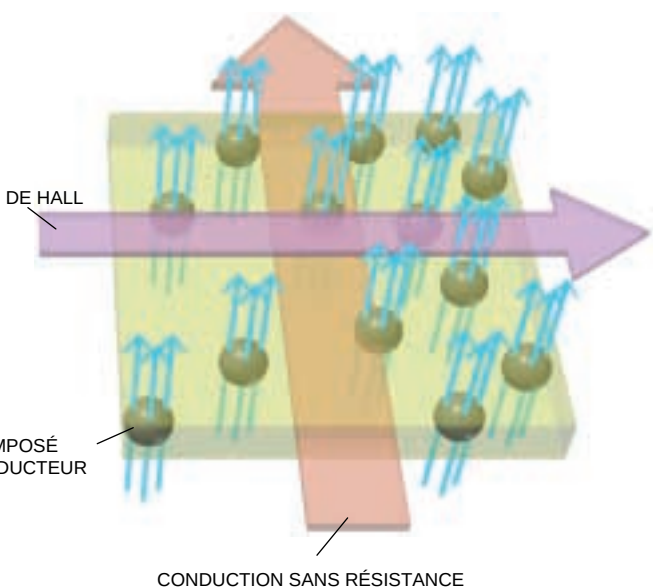
Ce comportement différent des fermions et des bosons explique beaucoup d'observations, telle la différence entre un supraconducteur et un métal ordinaire : la conduction électrique dans les métaux ordinaires découle des propriétés des fermions (plus particulièrement, des électrons), tandis que

EFFET HALL QUANTIQUE AVEC DES ÉLECTRONS



4. L'EFFET HALL QUANTIQUE (à gauche) résulte de l'annulation du champ magnétique externe par les bosons composés (à droite, où, pour plus de clarté, le champ annulé a été omis). En l'absence de champ magnétique, les bosons chargés deviennent

EFFET HALL QUANTIQUE AVEC DES BOSONS COMPOSÉS



supraconducteurs : la conduction est alors parfaite dans la direction longitudinale. La tension de Hall apparaît en raison de l'induction : les flux magnétiques fictifs en mouvement produisent une tension transverse.