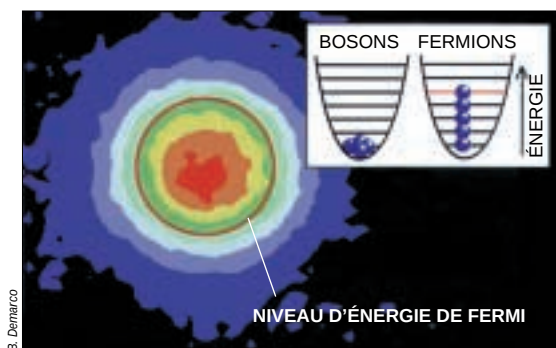




À basse température, les atomes de potassium au comportement de fermions se rassemblent. Au zéro absolu, tous devraient se trouver à l'intérieur du cercle rouge et remplir les niveaux d'énergie les plus bas du piège magnétique (à droite dans l'encart). Au contraire, les bosons se regroupent tous dans le niveau le plus bas (à gauche dans l'encart).

prennent des valeurs entières, alors que les fermions ont des valeurs de spins demi-entières (1/2, 3/2, etc.). De cette différence résulte leur différence de comportement de groupe, patente à basse température, lorsque les particules se mettent dans le plus bas niveau d'énergie disponible. À mesure que la température diminue, les bosons « tombent » brusquement tous ensemble dans l'état d'énergie minimale. Les fermions eux, se comportent plutôt comme des personnes qui descendent un escalier les unes derrière les autres : à mesure que l'on approche du zéro absolu, ils remplissent toutes les marches en commençant par la plus basse. Connu sous le nom de dégénérescence de Fermi, cet état joue un rôle essentiel dans les propriétés électriques des métaux et des semi-conducteurs, ainsi que dans la stabilisation des naines blanches et des étoiles à neutrons qui doivent résister à l'effondrement gravitationnel.

Pour créer un système de Fermi dégénéré, Deborah Jin et Brian de Marco, de l'Université de Boulder, ont utilisé le refroidissement par évaporation d'un gaz

d'atomes placés dans un piège magnétique, technique déjà utilisée pour créer un condensat de Bose-Einstein. Les physiciens ont choisi le potassium 40, composé de 40 protons et neutrons et de 19 électrons. Cet élément a un comportement de fermion, car il contient un nombre impair de fermions.

La création d'un état de Fermi dégénéré est délicate : il ne suffit pas de jeter quelques fermions dans un système qui produit des condensats de Bose-Einstein. En raison de

leur comportement, les fermions sont bien plus difficiles à refroidir que les bosons. Le refroidissement par évaporation est efficace à condition que l'on évacue les particules les plus chaudes et que les collisions entre particules dissipent en permanence l'énergie des chocs. Avec des fermions identiques, les collisions deviennent rares dans le régime quantique dégénéré. À chaque particule est associée une onde, dont la longueur caractéristique augmente à faible énergie. Le principe d'exclusion empêche une paire de fermions identiques de se rapprocher à une distance inférieure à cette longueur d'onde. Plus la longueur d'onde associée aux atomes augmente, plus la probabilité qu'ils entrent en collision diminue.

Pour pallier ce déficit de collisions, les physiciens ont utilisé un mélange à parts égales d'atomes dans deux états magnétiques proches, mais différents, des états Zeeman. Or, le potassium 40 possède deux états magnétiques qui peuvent être simultanément pris dans un piège magnétique. Deux atomes dans des états Zeeman différents peuvent

entrer en collision, même dans le régime dégénéré, car ils ne sont pas parfaitement identiques. Cette collision mixte autorise un refroidissement par évaporation efficace des deux variétés d'atomes.

Comment prouver que ces atomes sont bien dans un état dégénéré ? L'équipe américaine a montré qu'à une température inférieure à 0,3 microkelvin, les atomes ont plus d'énergie et une répartition des vitesses différente de ce que prévoit la physique classique. Cette particularité résulte du principe d'exclusion : lorsque les états atomiques les plus bas sont remplis, les atomes restant doivent se mettre dans des états d'énergie supérieure.

D'autres physiciens sont aussi en quête de cet état dégénéré. L'équipe de John Thomas, à l'Université Duke, a étudié le premier piège à fermions fondé sur des lasers. Ils espèrent refroidir un mélange de deux états du lithium 6 (au comportement de fermions) qui ne peuvent pas être retenus par un piège magnétique. Christophe Salomon et son équipe de l'École normale supérieure refroidiront un mélange de lithium 6 (fermion) et de lithium 7 (boson) à l'aide d'un piège magnétique. Le refroidissement d'un tel mélange permettrait d'obtenir un régime encore plus dégénéré, c'est-à-dire que toutes les marches les plus basses de l'« escalier » seraient occupées.

Le lithium 6 est particulièrement intéressant parce que ses atomes s'attirent à très basse température, et forment un autre état dégénéré : l'état de paires de Cooper, qui, lorsqu'il se produit avec des électrons, engendre la supraconduction (le transport d'électricité sans échauffement). Les atomes de lithium 6 s'apparieraient, devenant des bosons composites qui perdraient ainsi leur caractère de fermion et pourraient se retrouver dans un état condensé de Bose-Einstein.

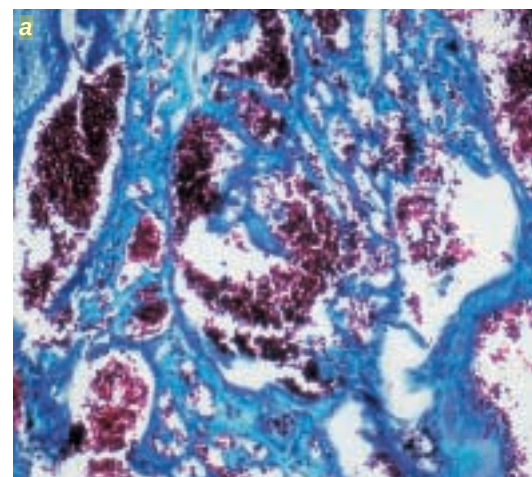
Des hémorragies cérébrales héréditaires

On a identifié une protéine responsable d'accumulations de sang dans le cerveau.

Certaines hémorragies cérébrales, parfois responsables de crises d'épilepsie, résultent d'une anomalie des petits vaisseaux qui sillonnent le cerveau : du sang s'accumule dans des sortes de cavernes, formant ce que l'on nomme des angiomes caverneux. En étudiant des familles où ces malformations vasculaires cérébrales sont fréquentes,

l'équipe d'Élisabeth Tournier-Lasserre (INSERM U25 et Hôpital Lariboisière) a trouvé un gène, localisé sur le chromosome 7, qui, lorsqu'il est muté, engendre cette maladie. En France, environ 30 000 personnes seraient atteintes, parfois sans le savoir.

Ces lésions cérébrales ne se manifestent parfois qu'après l'âge de 50 ans, voire plus tard. La découverte de la maladie se fait souvent par hasard au cours d'un examen par imagerie médicale (IRM) fait pour une raison quelconque. Quelque 20 pour cent des personnes atteintes ont une forme familiale de la maladie. L'autre forme, dite sporadique, touche des personnes en dehors de toute prédisposition familiale. Les personnes ayant une forme familiale ont parfois, en plus des angiomes



Lors de certaines hémorragies cérébrales, dues à une anomalie des capillaires, les globules rouges s'accumulent dans des cavi-

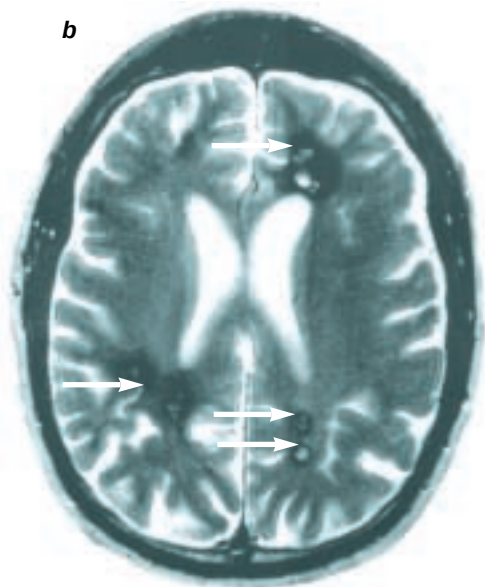
cérébraux, des angiomes de la rétine et de la peau. Les angiomes cutanés sont parfois déjà présents à la naissance. Dans les formes familiales, les personnes atteintes ont presque toujours (dans 85 pour cent des cas) plusieurs angiomes caverneux, une dizaine, voire davantage ; le nombre et la taille des angiomes caverneux augmentent à mesure que les personnes vieillissent. Les personnes ayant une forme sporadique ont une seule lésion cérébrale et n'ont jamais d'angiome cutané.

Les angiomes caverneux se traitent chirurgicalement. Si le traitement est généralement bien supporté et efficace, les neurochirurgiens sont parfois démunis, lorsque les lésions sont difficilement accessibles, notamment quand elles sont localisées dans le tronc cérébral.

En étudiant les formes familiales, des équipes américaines avaient déjà localisé trois gènes, sur les chromosomes 3 et 7, mais ils ne les avaient pas identifiés. En 1996, l'équipe d'É. Tournier-Lasserre a commencé, en collaboration avec les neurochirurgiens français et la Société française de neurochirurgie, une enquête nationale pour rassembler des familles atteintes de cette maladie. L'analyse clinique d'une cinquantaine de familles, menée Pierre Labauge, a été suivie de l'identification d'un des gènes incriminés, nommé *KRIT1* ; puis, Sophie Laberge a mis en évidence, sur ce gène, des mutations qui aboutissent toutes à la synthèse d'une protéine *KRIT1* tronquée.

Cette protéine était connue, mais n'a quasiment pas été étudiée, de sorte qu'on ignore encore quel est son mode d'action. Toutefois, on sait qu'elle interagit

b



tés (a, en rouge) ; les anomalies sont révélées par imagerie par résonance magnétique (les zones noires, b).