

les expériences en les modifiant, mais nous avons aussi cherché à comprendre pourquoi la résistivité était constante aux très fortes pressions. Aux basses pressions, les atomes d'hydrogène ont une forte tendance à l'appariement, de sorte que l'hydrogène liquide est entièrement moléculaire. Chaque molécule, composée de deux atomes, contient ainsi une paire de protons (positivement chargés) entourée d'un nuage électronique négativement chargé. Comme il faut une quantité d'énergie notable (15 électronvolts) pour arracher un électron à une molécule d'hydrogène, l'hydrogène moléculaire fluide ne transporte pas le courant : il est isolant. En revanche, quand les molécules d'hydrogène sont poussées les unes contre les autres par la pression et chauffées par l'onde de choc, l'énergie nécessaire pour faire sauter un électron d'une molécule à une autre diminue. La chaleur de l'onde de choc fournit cette énergie, de sorte que l'hydrogène fluide devient semi-conducteur. Sa conductivité augmente régulièrement (tandis que sa résistivité baisse) avec la pression et la tempéra-

ture. Enfin, lors du passage à l'état métallique, certains électrons se délocalisent : ils quittent leur molécule initiale et se répartissent dans tout l'échantillon (voir la figure 4).

À une pression de 140 gigapascals, la masse volumique de l'hydrogène liquide est de 0,32 mole par centimètre cube, et la température est de 2 600 kelvins. L'énergie nécessaire pour faire sauter un électron d'une molécule d'hydrogène à une autre tombe à 0,22 électronvolt. Les molécules sont si proches que leurs nuages électroniques se recouvrent : les électrons passent librement de l'une à l'autre. Une augmentation supplémentaire de densité ne change rien, ce qui explique pourquoi la résistivité de l'hydrogène ne diminue plus quand on augmente encore la pression. En outre, environ dix pour cent des molécules se dissocient en atomes : l'hydrogène est sous la forme d'un mélange de molécules, d'atomes et, probablement, d'agrégats de plus de deux protons. Les collisions entre les molécules brisent constamment ces dernières en atomes, qui se recombinaient pour former de nou-

velles molécules. En raison de ce désordre, les électrons sont dispersés, et le matériau présente la «conductivité minimale» d'un métal désordonné.

## Jupiter dans une bouteille

Pourquoi la pression qui conduit à la métallisation de l'hydrogène fluide est-elle inférieure à celle qui conduit à la métallisation de l'hydrogène solide? Sans doute parce que les atomes du solide se figent aux nœuds du cristal, ce qui gêne leur ionisation. Nos expériences et leurs interprétations contribuent ainsi à comprendre ce qui se passe à l'intérieur de Jupiter et de Saturne. Ces deux géantes gazeuses ont ensemble une masse 400 fois supérieure à celle de la Terre. La plus grande partie de leur hydrogène est métallique ; elle engendre les champs magnétiques de ces planètes.

Avant nos expériences, les astrophysiciens pensaient que Jupiter, sous son épaisse couche nuageuse, possédait un manteau d'hydrogène électriquement isolant, épais d'environ 18 000 kilomètres (soit un quart du

