

La fusion, une histoire de températures

L'ÉTUDE DE L'ÉNERGIE DE FUSION PRODUITE AU CŒUR DU PLASMA, EST UN AXE MAJEUR DE RECHERCHE DU PROJET INTERNATIONAL ITER. CETTE FORME D'ÉNERGIE S'OBTIENT GRÂCE À DE TRÈS HAUTES TEMPÉRATURES DE L'ORDRE DE PLUSIEURS MILLIONS DE DEGRÉS. POUR ATTEINDRE CES TEMPÉRATURES, LES SCIENTIFIQUES FONT APPEL À LA SCIENCE DU FROID NOMMÉE CRYOGÉNIE.



Stockage d'hélium



Une bobine supraconductrice de Tore Supra



Dans l'univers on peut atteindre les -270°C



La nébuleuse de la Tête de Cheval

Science des grands froids !

De -150 à -270°C , voici tout l'univers du cryogéniste qui étudie les très basses températures et leurs effets. Le radical Cryo qui provient du grec Kruos, signifie froid extrême, alors que le radical Génie signifie production. Le cryogéniste produit donc du grand froid ! En recherche fondamentale, il permet d'étudier la matière qui devient quasi-immobile sous son influence. A cette température, plus aucune chaleur ne peut en être extirpée. Les physiciens ont découvert que les fluides perdent toute viscosité alors que certains métaux et alliages perdent leur résistance électrique, c'est la supraconductivité.

Au fil du temps, les civilisations ont découvert que de très fortes variations thermiques étaient de mise à l'état naturel dans l'univers. En effet, à 2 500 kilomètres sous nos pieds, le noyau terrestre dépasse les $5\,500^{\circ}\text{C}$ tandis qu'au cœur du soleil la température s'élève à 15 millions de degrés. Les zones les plus reculées de l'univers, quant à elles, peuvent atteindre les -270°C (environ 3 K), représentant les plus basses températures existantes.

Ces températures permettent à la matière d'incarner tous ses états du solide au plasma, en passant par le liquide et

le gazeux. Elles sont naturellement obtenues en fonction de la pression de l'environnement et des forces d'attractions qui influencent l'agitation des molécules de la matière.

Cependant, les cryogénistes parviennent à des températures de l'ordre de 0,21 K par évaporation de l'hélium sur une surface. Des températures plus basses ($0,000000001$ K ou 10^{-9} K) peu-

vent également être obtenues par d'autres méthodes sophistiquées. La compréhension de cette science du froid permet aussi de fabriquer des glaçons de deutérium*. Grâce au froid il est donc possible de solidifier certains gaz. Cette technique est d'une grande utilité pour les installations de recherche dans le domaine de la fusion. Elle permet en effet d'alimenter le plasma en son cœur. Injecté à très grande vitesse, le glaçon de deutérium est propulsé à l'endroit même où les températures du plasma sont les plus élevées. Mais la cryogénie n'arrête pas là ses prouesses.

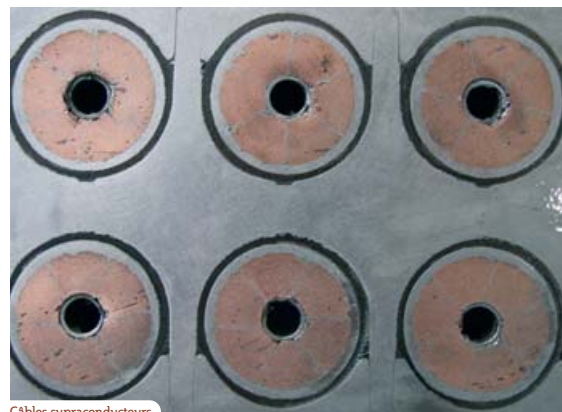
Les physiciens ont découvert que certaines substances, comme l'hélium, atteignent les limites du grand froid en développant de remarquables propriétés. Ces fluides perdent alors toute viscosité et glissent sur n'importe quel support : ils deviennent alors superfluides.

Par exemple, de l'hélium superfluide qui s'écoule sur un sol recouvre sans encombre les obstacles qu'il rencontre, allant jusqu'à s'étaler sur les murs. Les cryogénistes ont également découvert que l'hélium superfluide conduit la chaleur sans subir la moindre perte thermique. Cette particularité lui permet d'absorber la chaleur émise par n'importe quelle source d'énergie. Cette technologie est déjà utilisée par les installations de recherche JT-60 au Japon ou Tore Supra à Cadarache. De l'hélium

superfluide est en effet injecté au cœur de l'alliage (niobium/titane) qui compose l'enceinte contenant le plasma. Refroidi à très basse température, cet alliage n'offre alors plus aucune résistance aux courants électriques, c'est la supraconductivité. Cette technologie permet d'accroître la température au cœur du plasma. Observée pour la première fois en 1911 par le physicien hollandais Heike Kamerlingh Onnes, elle a trouvé un terrain d'application en particulier dans le domaine de l'imagerie par résonance magnétique. D'autres applications pourraient voir le jour au Japon avec la mise au point d'un train expérimental à lévitation magnétique et d'un navire à propulsion magnéto hydro dynamique.

Les recherches menées sur l'ITER permettront ainsi d'affiner nos connaissances sur les supraconducteurs. En effet, grâce à son nouvel alliage mariant le niobium à l'étain, l'ITER utilisera des supraconducteurs plus puissants que Tore Supra. Cette nouvelle puissance électromagnétique n'aura plus besoin de la superfluidité.

*Le deutérium est un atome d'hydrogène dont le noyau dispose d'un neutron en plus. C'est un isotope, un cousin de l'hydrogène. Le deutérium est l'un des carburants du plasma avec le tritium, un autre isotope de l'hydrogène.



Câbles supraconducteurs



Degrés Celsius et Kelvin

Le degré Celsius, du nom de son inventeur l'astronome suédois Anders Celsius (1701-1744), représente l'échelle usuelle des températures. Elle est basée sur les points 0 et 100 correspondant respectivement à la température de la glace fondante et à l'ébullition de l'eau sous pression atmosphérique normale. Toutefois, la physique ou la cryogénie (sciences du froid) utilisent le degré Kelvin inventé par le physicien anglais William Kelvin (1824-1907). Cette échelle de température prend sa source au zéro absolu ou zéro Kelvin ($-273,15^{\circ}\text{C}$), représentant la température la plus basse, celle de l'arrêt du mouvement de l'agitation thermique. Le déroulement des deux échelles est le même avec un décalage de 273,15 degrés.

Le zéro absolu

$-273,15^{\circ}\text{C}$ représente le zéro absolu ou zéro Kelvin. A cette température, les atomes entreraient dans un état d'immobilité totale. Les électrons qui tournent autour du noyau seraient stoppés dans leur course. La notion de zéro absolu est proposée pour la première fois en 1702 par Guillaume Amontons qui travaille alors sur les relations entre température et pression dans un gaz. Il comprend qu'un gaz confiné sous une certaine pression augmente d'environ un tiers de son volume lorsqu'il passe d'un état très froid à 100°C , représentant le degré d'ébullition de l'eau. Basé sur cette découverte, il suppose alors qu'une réduction suffisante de température entraînerait une absence de pression.

It