



Souvenirs d'un cryodinosaur

NICHOLAS KURTI

L'aube du refroidissement magnétique.

La désaimantation adiabatique, une méthode qui permet d'atteindre des températures de quelques millièmes de degré au-dessus du zéro absolu ($-273,15^{\circ}\text{C}$), est née de l'erreur théorique de deux physiciens qui furent pourtant lauréats du prix Nobel. Étonné de leurs analyses erronées, le physicien allemand Franz Eugen Simon me poussa à des vérifications expérimentales qui nous conduisirent à la découverte de cette méthode, en 1956. L'évocation de nos études éclaire les débuts de la physique des basses températures, qui a récemment fleuri avec les explorations de la supraconduction.

Je me suis intéressé à la physique des basses températures en 1929, après ma licence, à la Sorbonne. Quand j'arrivais à Berlin, avec une lettre de recommandation pour Simon, la physique des basses températures était en plein essor.

Ce dernier avait commencé, très exactement, dans l'après-midi du 24 décembre 1877 : le chimiste Jean-Baptiste Dumas annonça à l'Académie

des sciences que l'oxygène venait d'être liquéfié, presque simultanément, mais indépendamment, par Louis Cailletet, à Châtillon-sur-Seine, et par Raoul Pictet, à Genève. C'était un événement, car l'oxygène était alors un gaz prétendu «permanent», c'est-à-dire qu'on pensait impossible à liquéfier ; Cailletet et Pictet avaient obtenu l'oxygène liquide parce qu'ils avaient atteint une température plus basse que leurs prédécesseurs, de -183°C .

Puis la physique des basses températures avait connu un autre grand moment en 1898, quand James Dewar, à Londres, avait liquéfié l'hydrogène, à -252°C . En 1908, l'hélium liquide fut obtenu par H. Kammerlingh Onnes, à Leyde, à $-268,9^{\circ}\text{C}$; et, en 1932, William Keesom, également à Leyde, obtint un record de basse température de 0,7 kelvin (soit 0,7 degré au-dessus du zéro absolu) en faisant bouillir de l'hélium liquide sous vide : la réduction de la pression, au-dessus du liquide, facilite l'évaporation, ce qui abaisse la température

d'ébullition (en vertu du même phénomène, l'eau bout à des températures inférieures à 100°C , en altitude).

Alors que les expérimentateurs atteignaient ainsi des températures de plus en plus basses, les théoriciens cherchaient à interpréter les phénomènes étranges qui apparaissaient dans ce monde où la matière s'immobilise progressivement.

À l'Université de Leipzig, notamment, Peter Debye avait proposé théoriquement une nouvelle méthode de «refroidissement par désaimantation adiabatique» afin d'atteindre des températures encore inférieures : en décembre 1926, il publie dans les *Annalen der Physik* un article intitulé «Quelques remarques sur l'aimantation à basse température». Il se fonde sur des résultats obtenus trois ans plus tôt par Onnes et par H. Woltjer, qui avaient montré que l'aimantation d'un sel, le sulfate de gadolinium, varie en fonction du champ magnétique et de la température, conformément à une formule établie par Paul Langevin.

Appliquant les lois de la thermodynamique à la formule de Langevin, Debye calcule qu'aux températures où l'hélium est liquide, des champs magnétiques de quelques dixièmes de tesla ordonnent puissamment les moments magnétiques des électrons (responsables de l'aimantation) du sulfate de gadolinium.

Que se passe-t-il si l'on aimante d'abord le sulfate de gadolinium de façon isotherme, c'est-à-dire à température constante, puis si l'on réduit ensuite lentement le champ magnétique, la substance étant isolée thermiquement de son environnement ? Lors de la désaimantation, réversible et adiabatique (c'est-à-dire sans échange de chaleur entre l'échantillon et son environnement), l'entropie (le désordre) est constante : à mesure que les moments magnétiques des électrons se désordonnent, leur entropie augmente, mais le désordre des atomes doit diminuer d'autant ; comme la température dépend du mouvement des atomes, le cristal de sulfate de gadolinium doit donc refroidir (voir la figure 2).



Photographie de N. Kurti

1. Ce générateur électrique alimentait les bobines qui engendraient les champs magnétiques de trois teslas, en 1956, à Oxford.