



J. Silva, Sigma

**3. TRAUMATISÉS PAR LA GUERRE CIVILE**, les patients les plus violents internés dans un hôpital psychiatrique de Luanda, en Angola, étaient enchaînés à de lourdes pièces de moteurs : l'hôpital n'avait pas de camisolots de force. La plupart des hôpitaux psychiatriques des pays en développement n'ont pas l'équipement nécessaire.

mentales provoquent tant de souffrances dans le monde entier, que cette négligence est tragique.

Une meilleure compréhension des relations entre les cultures et les maladies mentales ne suffira pas à soulager les malades ; la prise en charge des maladies mentales, dans les pays en développement, est entravée par plusieurs difficultés, notamment parce que l'on est incapable de multiplier les programmes locaux. De plus, les pays à faibles revenus, confrontés à une pauvreté extrême et à des ressources limitées, s'attaquent d'abord aux maladies endémiques, telles que le paludisme et les diarrhées, et ne s'offrent pas le « luxe » de traiter les maladies mentales. Cette attitude compréhensible n'est pas acceptable, car quand on ne traite pas rapidement les patients dépressifs, on est ensuite confronté aux troubles secondaires, qui engendrent

davantage de handicaps que l'arthrite, le diabète, l'hypertension ou les maux de dos.

Enfin, les psychiatres font une hypothèse qui risque d'avoir des conséquences dévastatrices : ils supposent qu'une base de données presque exclusivement établie d'après des cas Nord-américains et européens serait applicable aux 80 pour cent de la population mondiale qui vit en Asie, en Afrique et en Amérique du Sud, ainsi qu'aux communautés immigrées en Amérique du Nord et en Europe. Quels que soient les mécanismes biologiques sous-jacents, les maladies mentales surviennent dans des contextes socioculturels qui en modifient les symptômes et les conséquences. Aujourd'hui, les psychiatres doivent s'intéresser davantage aux relations entre les aspects socio-économiques, culturels et biologiques des maladies mentales.

Arthur KLEINMAN, professeur de psychiatrie, dirige le département de médecine sociale de la Faculté de médecine d'Harvard. Alex COHEN, qui travaille dans l'équipe de A. Kleinman, participe au Programme d'étude de la santé mentale des populations en développement de l'Organisation mondiale de la santé.

Arthur KLEINMAN, *Rethinking Psychiatry : From Cultural Category to Personal Experience*, Free Press, 1988.

*Investing in Health : World Development*

*Report 1993*, World Bank, Oxford University Press, 1993.

*Mental Illness in General Health Care : An International Study*, sous la direction de T.B. Üstün et N. Sartorius, John, Wiley & Sons, 1995.

*World Health Report 1995 : Bridging the Gaps*, World Health Organization, 1995.

Robert DES JARLAIS, Leon EISENBERG, Byron GOOD et Arthur KLEINMAN, *World Mental Health : Problems and Priorities in Low-Income Countries*, Oxford University Press, 1995.

## DES CAILLOUX DANS LES CHOSES SÛRES

**DIDIER NORDON**

**Des cailloux  
dans les choses sûres**



Didier Nordon épingle les scientifiques et les politiques qui extraient de la science plus qu'elle ne dit. Nul doute que chacun reconnaîtra dans ces piques... le défaut de son condisciple.

144 pages - 65 F

Code 1897

**POUR LA  
SCIENCE**  
DIFFUSION BELIN

**Bon de commande en p. 98**

# Kamerlingh Onnes découvre la supraconduction

RUDOLF DE BRUYN OUBOTER

*La course au zéro absolu a conduit, en 1911, à une découverte inattendue : la résistance des métaux s'annule à basse température.*

Il y a un peu plus de dix ans, Georg Berdnoz et Alexander Müller, de la Société IBM à Zurich, ont découvert qu'un oxyde de cuivre, de baryum et de lanthane perd toute résistance électrique au-dessous de la température critique de  $-238^{\circ}\text{C}$ . On pensait que cette disparition de la résistance électrique, la supraconduction, était restreinte à quelques dizaines de degrés au-dessus du zéro absolu. La révélation de son existence à «haute température» a suscité chez les physiciens un formidable regain d'intérêt. Ils s'attachent depuis à mettre au point des matériaux supraconducteurs à des températures de plus en plus grandes. Toutefois, l'histoire de la supraconduction a commencé par une course en sens inverse, vers l'obtention d'une température aussi basse que possible.

Le principal héros de cette course, le physicien néerlandais Heike Kamerlingh Onnes, était fasciné par le froid. La température qui régnait à Stockholm le jour de décembre 1913 où il reçut le prix Nobel de physique était de circonstance. Cet honneur lui était fait «pour ses travaux sur les propriétés de la matière à basse température qui ont conduit, entre autres, à la production d'hélium liquide». La nomination ne mentionne pas que, grâce à la liquéfaction de l'hélium, Kamerlingh Onnes avait découvert la supraconduction.

Kamerlingh Onnes naît en 1853 à Groningue, au Nord-Est des Pays-Bas. Son père dirige une fabrique de tuiles. Le tempérament artistique de sa mère marque toute la famille : son frère et son neveu deviennent peintres, sa sœur épouse Floris Verster, un artiste renommé de Leyde, et Kamerlingh



Onnes lui-même commet quelques poésies dans sa jeunesse. S'en souviendra-t-il lorsqu'il choisira la devise rimée de son laboratoire : *Door meten tot weten* (La connaissance vient des mesures)? Kamerlingh Onnes, toutefois, ne se passionne que pour la physique.

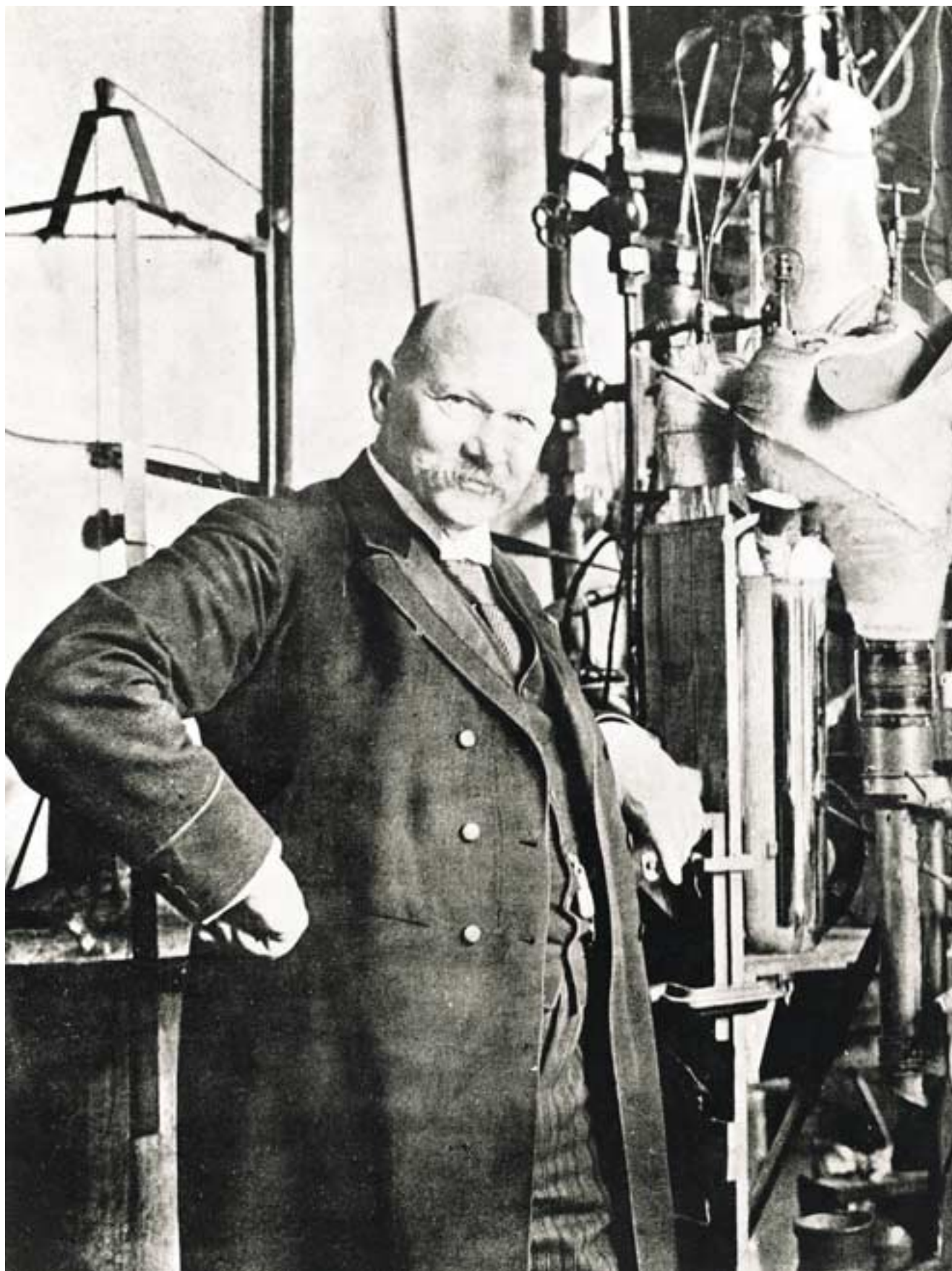
En 1870, il s'inscrit à l'Université de Groningue. Ayant obtenu une bourse, premier prix d'un concours, il part l'année suivante à l'Université d'Heidelberg, en Allemagne. Pendant trois trimestres, il étudie avec le chimiste Robert Bunsen (dont le patronyme est familier à tous ceux qui ont allumé un bec du même nom en travaux pratiques de chimie) et avec le physicien Gustav Kirchhoff. De retour à Groningue en 1873, il y travaille cinq ans avant d'y soutenir une thèse de doctorat à propos de l'effet de la rotation de la Terre sur un pendule court. Il est reçu docteur *magna cum laude*. Selon la chronique locale, les examinateurs auraient chaudement applaudi son exposé.

## Du gaz parfait au gaz réel

Kamerlingh Onnes ne poursuit toutefois pas ses travaux de mécanique. Quelques mois avant la fin de son doctorat, il fait la rencontre, déterminante, de Johannes Diderik van der Waals, qui étudie le comportement des gaz à l'Université d'Amsterdam. À la fin du XVII<sup>e</sup> siècle, le physicien anglo-irlandais Robert Boyle, suivi du Français Edme Mariotte, avait énoncé que, à température constante, la pression d'un gaz est inversement proportionnelle à son volume. Cette loi n'est rigoureusement valide que pour un gaz parfait imaginaire, dont les molécules n'occuperaient aucun volume et n'interagiraient pas. Avec l'amélioration des techniques de mesure, les chimistes et les physiciens notaient des écarts entre le comportement des gaz réels et la loi de Boyle-Mariotte.

Van der Waals recherche une loi plus exacte. Il met en équations le comportement des gaz en tenant compte du volume et des interactions moléculaires. En 1873, il formule la loi qui porte son nom : elle décrit le comportement des gaz avec des paramètres qui dépendent de chaque gaz. Sept ans plus tard, il publie la loi des états correspondants : la même équation décrit le comportement de tous les gaz.

En 1882, Kamerlingh Onnes est nommé professeur de physique à l'Université de Leyde. Il peut enfin se consacrer librement à son grand projet : tester expérimentalement les équations de van der Waals. Bien que les techniques quantitatives soient utilisées en mécanique et en électromagnétisme, l'étude de la matière est encore qualitative.



1. KAMERLINGH ONNES, debout devant l'appareil qu'il utilisa pour refroidir l'hélium et le liquéfier (*ci-dessus*). La découverte du phénomène qu'il nomme supraconduction est une conséquence de ses recherches sur les basses températures. Depuis dix ans, on

connaît des matériaux supraconducteurs à plus de 77 kelvins, température de l'azote liquide, facilement accessible (*page précédente*) : les physiciens espèrent aussi élargir le spectre des applications de la supraconduction.



Kamerlingh Onnes a des objectifs plus ambitieux : il veut mesurer les propriétés de la matière. La rigueur mathématique qu'il a développée dans ses travaux de mécanique se révélera utile.

À basse température, le comportement des gaz s'écarte fortement du modèle des gaz parfaits, car l'énergie d'interaction entre les molécules est du même ordre que l'énergie cinétique de ces molécules. C'est donc dans ces conditions que Kamerlingh Onnes veut faire des mesures. Il doit, au préalable, mettre au point des méthodes fiables pour produire des basses températures : il crée un laboratoire de cryogénie à Leyde (ce laboratoire recevra son nom en 1932). Kamerlingh Onnes est un précurseur de la physique moderne qui utilise de grands appareils et rassemble des dizaines de chercheurs et de techniciens autour d'une seule expérience. Comme il a besoin de techniciens qualifiés, qui fabriquent les instruments complexes et précis nécessaires à ses recherches, il fonde la Société pour la promotion de la formation de fabricants d'instruments. Cette école, au sein de l'Université, forme des techniciens, notamment des souffleurs de verre, qui travaillent pour lui, et pour de nombreux chercheurs du monde entier aujourd'hui encore.

En 1877, les physiciens français et suisse Louis Cailletet et Raoul Pictet ont réussi, indépendamment, à liquéfier à la fois l'oxygène et l'azote. Avant cette double victoire, de nombreux physiciens pensaient que l'on ne pourrait pas atteindre les basses températures auxquelles ces gaz se liquéfient. Cailletet et Pictet n'avaient toutefois produit que de petites quantités d'oxygène et d'azote liquide. Kamerlingh Onnes a besoin d'en liquéfier de grandes quantités.

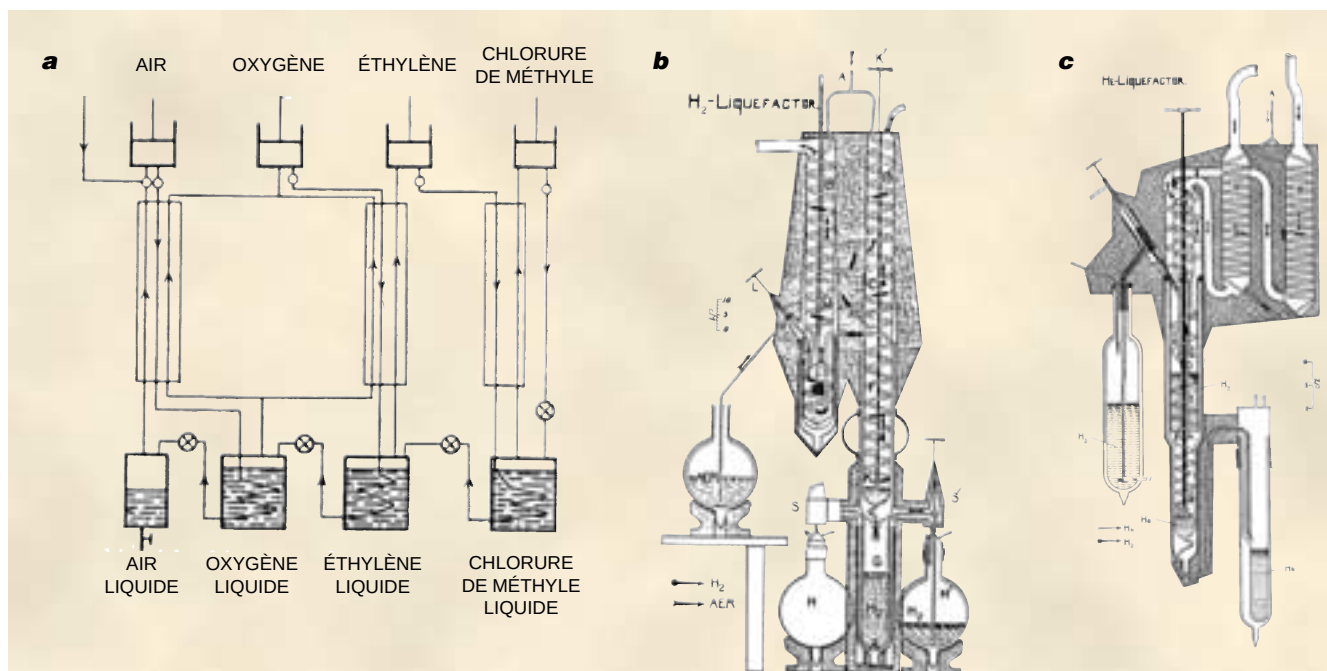
## Liquéfactions en cascade

Il y parvient en 1892. L'appareil qu'il a mis au point refroidit successivement plusieurs gaz, de température de liquéfaction de plus en plus basse. Un gaz est comprimé, puis refroidi jusqu'à son point de liquéfaction. Le mélange de liquide et de gaz est alors détendu, ce qui abaisse la température (la température de liquéfaction diminue avec la pression). Le gaz va alors refroidir un autre gaz comprimé. En commençant par du chlorure de méthyle, qui se liquéfie à 21 °C sous une pression de cinq atmosphères, Kamerlingh Onnes liquéfie successivement l'éthylène (-87 °C à trois atmosphères), l'oxygène (-145 °C à 17 atmosphères) et finalement l'air

(-193 °C à une atmosphère). La liquéfaction de l'hydrogène reste toutefois impossible : elle ne se produit qu'à -253 °C (soit 20 kelvins, le zéro de l'échelle des kelvins, ou zéro absolu, plus petite température possible, étant à -273,15 °C), température hors de portée de l'appareil de Kamerlingh Onnes.

C'est le physicien écossais James Dewar qui liquéfie le premier l'hydrogène, en 1898. Il utilise un phénomène thermodynamique nommé détente de Joule-Thomson, déjà utilisé par Kamerlingh Onnes : la température d'un gaz diminue quand on le détend à travers une paroi poreuse et sans échange de chaleur avec l'extérieur. On pensait que ce procédé était inutilisable pour l'hydrogène qui, au contraire, s'échauffe lorsqu'il est détendu de cette façon. Dewar montre que, si l'on refroidit l'hydrogène au-dessous de -80 °C, son comportement redevient normal : il se refroidit en se détendant. Dewar atteint ainsi la température de liquéfaction de l'hydrogène.

Kamerlingh Onnes ne liquéfie de l'hydrogène que huit ans après Dewar. Son retard résulte en partie de sa volonté de mettre au point un appareil qui liquéfie de grandes quantités de gaz : pour étudier les propriétés de la matière à



**2. L'APPAREIL CONSTRUIT PAR KAMERLINGH ONNES en 1892 (a) produit 14 litres d'air liquide à l'heure. L'air liquide est indispensable au fonctionnement du liquéfacteur d'hydrogène (b) qu'il met au point en 1906. L'hydrogène gazeux y circule à travers le système jusqu'à un bain d'air liquide, puis est détendu à travers une soupape : il se liquéfie en partie. L'hydrogène**

liquide est recueilli, tandis que le gaz retourne dans le compresseur pour un nouveau cycle. Kamerlingh Onnes met au point le premier liquéfacteur d'hélium (c) en 1908. Il pose avec son mentor, Johannes Diderik van der Waals, devant l'appareil en 1911 (d) et, dix ans après, avec le chef de son équipe technique, Gerrit Flim (e).

basse température, il lui en faut de grandes quantités. Dewar, en revanche, n'est préoccupé que par l'obtention de la plus basse température possible. Malgré les succès initiaux de ce dernier, ce sera Kamerlingh Onnes qui deviendra le «gentleman du zéro absolu».

Le retard de Kamerlingh Onnes est aussi la conséquence de la peur des habitants de Leyde. Son laboratoire est construit sur les ruines d'une partie du centre ville détruite en 1807 par l'explosion d'un navire chargé de munitions. En 1896, lorsque le conseil municipal apprend que le laboratoire contient de grandes quantités d'hydrogène comprimé, gaz spontanément inflammable, il redoute une nouvelle catastrophe. Une commission est nommée pour étudier la question mais, bien que van der Waals en soit membre et que Dewar écrive pour implorer que la recherche continue, les travaux de Kamerlingh Onnes sur l'hydrogène sont suspendus pendant deux ans.

En 1906, Kamerlingh Onnes et son équipe disposent enfin d'un appareil qui produit quatre litres d'hydrogène liquide à l'heure. Après quelques améliorations, la capacité horaire passe à 13 litres. Ce liquéfacteur comprime l'hydrogène gazeux, le fait passer dans une

zone refroidie à l'air liquide, puis lui fait subir une détente de Joule-Thomson, ce qui le refroidit assez pour en liquéfier une partie. L'hydrogène gazeux est récupéré pour un autre cycle.

## L'hélium, nouvel objectif

En 1895, pendant que Kamerlingh Onnes et Dewar tentent de liquéfier l'hydrogène, en Angleterre, William Ramsay découvre que l'hélium, le plus léger des gaz rares et dont on n'avait montré l'existence, par spectroscopie, que dans le Soleil, est aussi présent sur Terre. Ses atomes interagissent très peu et sa température de liquéfaction est encore plus basse que celle de l'hydrogène. La découverte de Ramsay donne un nouvel objectif à Kamerlingh Onnes : liquéfier l'hélium.

Il lui faut d'abord se procurer du gaz. Par chance, son frère dirige le Bureau des renseignements commerciaux d'Amsterdam, et il négocie l'achat en Caroline du Nord de grandes quantités de monazite, un sable qui contient de l'hélium. Kamerlingh Onnes extrait environ 300 litres d'hélium gazeux (à une atmosphère) de la cargaison de sable.

Kamerlingh Onnes possède un atout décisif pour liquéfier l'hélium :

il peut produire de grandes quantités d'hydrogène liquide. Il met au point un nouvel appareillage qui utilise de l'air liquide et de l'hydrogène liquide comme réfrigérants et, finalement, la détente de Joule-Thomson.

Le système est prêt à fonctionner le 10 juillet 1908. La rumeur se propage dans l'Université, et un petit groupe de scientifiques vient assister à la première tentative. Vers le milieu de l'après-midi, l'hélium gazeux circule dans le circuit. En début de soirée toutefois, aucune goutte d'hélium liquide n'est encore apparue : le thermomètre refuse de descendre au-dessous de 4,2 kelvins.

Fransiscus Schreinemakers, un professeur de chimie venu en curieux, émet l'hypothèse que le thermomètre a cessé de baisser parce que l'hélium liquide est déjà là mais qu'on ne le voit pas. Kamerlingh Onnes éclaire alors le récipient collecteur par le dessous. Selon ses propres termes, c'est un moment merveilleux : la surface de l'hélium liquide apparaît soudain contre la paroi de verre du récipient, tel le tranchant d'un couteau. Ivre de joie, il montre l'hélium liquide à van der Waals.

En diminuant la pression, Kamerlingh Onnes abaisse la température à



1,7 kelvin, très près du zéro absolu pour cette époque. En 1905, l'Allemand Walther Nernst a montré que les lois de la thermodynamique interdisent d'atteindre expérimentalement le zéro absolu. On peut toutefois s'en approcher plus : une température de 0,3 kelvin a été depuis atteinte avec un isotope rare de l'hélium, l'hélium 3, et la désaimantation des noyaux atomiques a produit des températures atteignant 0,00001 kelvin. Kamerlingh Onnes mesure la température avec un thermomètre à l'hélium gazeux : à volume constant et à basse pression, le comportement de l'hélium est très proche de celui d'un gaz parfait. Le produit de la pression par le volume est proportionnel à la température, et la mesure de la pression à volume constant indique la température.

Au cours des trois années suivantes, Kamerlingh Onnes améliore ses appareils pour produire plus d'hélium liquide et l'utiliser dans ses travaux. Le transvasement de l'hélium liquide, du récipient où il s'est condensé dans un récipient de stockage, est, par exemple, déjà une performance. Finalement, en 1911, un cryostat à hélium, qui maintient le liquide à basse température, est au point. Outre la vérification et l'amélioration des lois de van der Waals, Kamerlingh Onnes peut alors étudier le

comportement d'autres matériaux aux températures de l'hélium liquide, notamment leur résistance électrique.

En 1911, les physiciens savent que la résistance électrique d'un métal décroît avec la température. Un point, toutefois, est en débat : que se passe-t-il au voisinage du zéro absolu ? Lord Kelvin pense que la circulation des électrons est bloquée, ces derniers étant gelés sur place : la résistance serait donc infiniment grande. Kamerlingh Onnes et Dewar supposent au contraire que la résistance continue de décroître avec la température et qu'elle devient nulle au zéro absolu. Ils avaient raison, mais Kamerlingh Onnes va découvrir que cette décroissance n'est pas continue.

### La résistance du mercure

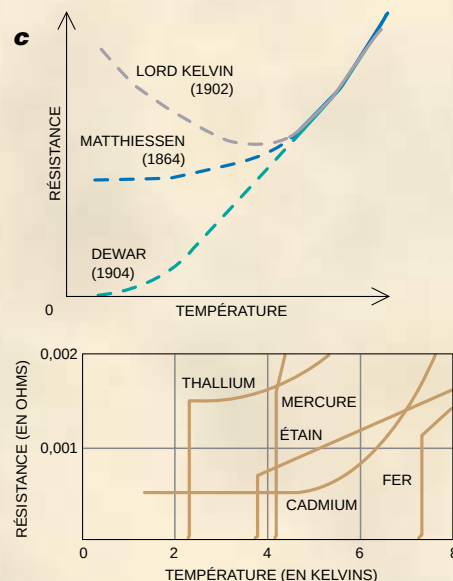
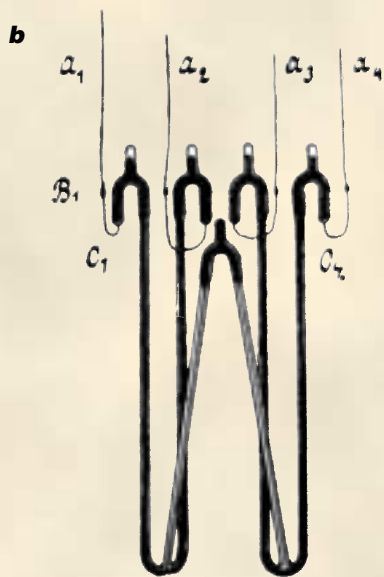
Pour être certain d'observer des phénomènes liés seulement à la structure du métal et non à des impuretés qui y seraient présentes, Kamerlingh Onnes utilise du mercure plusieurs fois distillé à température ambiante, et donc très pur. Le mercure est introduit dans un capillaire de verre en forme de U muni d'électrodes à chaque extrémité, afin que la résistance soit mesurable pour le mercure liquide ou solide.

Kamerlingh Onnes, Gerrit Flim, chef de l'équipe technique, Gilles Holst

et Cornelius Dorsman réalisent les expériences. Kamerlingh Onnes et Flim surveillent l'appareillage cryogénique où le mercure est refroidi ; Holst et Dorsman enregistrent les mesures de résistance avec un galvanomètre, dans une pièce éloignée. Ils observent la décroissance de la résistance électrique, qui suit celle de la température. Toutefois, à la température de l'hélium liquide, nettement supérieure au zéro absolu, la résistance est déjà nulle.

Jacobus de Nobel, arrivé au laboratoire cryogénique de Leyde en 1931, tient de Flim le récit de ces premières expériences (bien sûr, ce récit de deuxième main, et après si longtemps, est sujet à caution). Lorsqu'ils mesurent une résistance nulle à la température de l'hélium liquide, Kamerlingh Onnes et ses collaborateurs pensent d'abord qu'un court-circuit s'est produit, et ils remplacent le capillaire en U par un tube en W, muni d'électrodes à chaque extrémité et aux angles. Ils mesurent ainsi la résistance de quatre segments. Toutefois, la résistance reste nulle et aucun court-circuit n'est détecté dans aucun segment.

La pression de vapeur d'hélium dans le cryostat doit être légèrement inférieure à la pression atmosphérique pour que l'air s'engouffre par toute fuite éventuelle, y gèle et la scelle. Toujours selon



**3. LE COMPRESSEUR INVENTÉ PAR LOUIS CAILLETET (a), physicien français qui liquéfia l'oxygène et l'azote, fut utilisé par Kamerlingh Onnes. Comme aucun gaz n'est perdu pendant la compression ou la détente, ce dispositif permet de travailler avec des gaz purs et coûteux. Un tube capillaire en forme de W (b) contenait le fil de mercure utilisé dans les mesures de la résistance du mercure**

**à basse température. Avant que Kamerlingh Onnes ne commence ses recherches, les physiciens prédisaient un comportement des métaux (c) assez différent de ce qu'il observa. Il découvrit qu'une chute abrupte de résistance (d) accompagne la décroissance de la température pour le mercure et pour de nombreux autres métaux.**





4. KAMERLINGH ONNES, en 1922, dessiné par son neveu, Harm Kamerlingh Onnes.

J. de Nobel, un jour, un étudiant de l'école de fabrication d'instruments qui commande la régulation d'un manomètre relié au liquéfacteur s'endort, et laisse la pression augmenter lentement : la température augmente aussi. Lorsque celle-ci passe à 4,2 kelvins, Holst voit l'aiguille du galvanomètre dévier brusquement : la résistance vient de réapparaître.

Holst a ainsi observé par hasard, pour la première fois, la transition du mercure de l'état que Kamerlingh Onnes nomme alors supraconducteur à l'état de conducteur ordinaire. Ces expériences ont convaincu Kamerlingh Onnes que la résistance du mercure s'annule vers 4,2 kelvins : il publie cette découverte en novembre 1911. Des expériences ultérieures sur l'étain et le plomb montrent que la supraconduction est une propriété de nombreux métaux à très basse température.

En 1914, Kamerlingh Onnes établit, dans une bobine supraconductrice en plomb, un courant permanent qu'il nomme supracourant persistant. La bobine est placée dans un cryostat qui contient de l'hélium liquide, et le courant est induit par un champ magnétique externe. En l'absence de résistance, les électrons circulent indéfiniment dans la bobine. Après avoir observé ce courant, le physicien austro-néerlandais Paul Ehrenfest écrit au prix Nobel de physique Hendrik Lorentz : «L'action de ces courants "permanents" sur une aiguille magnétique est troublante. Vous sentez de façon presque tangible comment l'anneau d'électrons dans le fil tourne en rond encore et encore – lentement, et sans friction.»

Kamerlingh Onnes meurt en 1926. Une affection des bronches l'obligeait depuis longtemps à de longs séjours de convalescence en Suisse. Son absence physique ne l'empêchait apparemment pas de diriger son équipe. Il aurait même continué après sa mort : son service funéraire ayant duré plus longtemps que prévu, la procession dû courir à travers la ville pour être à l'heure pour l'enterrement dans le petit village voisin de Voorschoten. Alors que le cortège se dépêchait, Flim aurait remarqué : «C'est bien dans les façons du vieil homme – il continue à nous faire courir.»

Kamerlingh Onnes croyait fermement que la supraconduction aurait des applications pratiques. Il avait pourtant découvert qu'un champ magnétique, même très faible, détruit la supraconduction. Dans les métaux qu'il a étudiés, le supracourant est limité à de petites intensités : le champ magnétique associé à un courant d'intensité suffisante empêche la supraconduction. Des matériaux supraconducteurs pour de grandes intensités de courant n'ont été découverts, fabriqués et utilisés dans des appareillages, par exemple pour l'imagerie médicale par résonance magnétique, qu'un demi-siècle après sa mort. Les matériaux supraconducteurs les plus récents permettront peut-être des applications telles que la lévitation magnétique des trains et le transport du courant électrique sans pertes.

Rudolf de BRUYN OUBOTER est professeur de physique expérimentale au Laboratoire Kamerlingh Onnes de Leyde.

Kurt MENDELSSOHN, *The Quest for Absolute Zero : The Meaning of Low-Temperature Physics*, Taylor and Francis, 1977.

Rudolf de BRUYN OUBOTER, *Superconductivity : Discoveries during the Early Years of Low Temperature Research at Leiden. 1908-1914*, in *IEEE Transactions on Magnetism*, vol. Mag-23, n° 2, pp. 355-370, mars 1987.

Bruce SCHECHTER, *The Path of No Resistance : The Story of the Revolution in Superconductivity*, Simon & Schuster, 1989.

Gianfranco VIDALI, *Superconductivity : The Next Revolution ?*, Cambridge University Press, 1993.

J. MATRICON et G. WAYSAND, *La guerre du froid*, éditions du Seuil, 1994.

Jacobus de NOBEL, *The Discovery of Superconductivity*, in *Physics Today*, vol. 49, n° 9, pp. 40-42, septembre 1996.

## L'UNIVERS DES SCIENCES

L'UNIVERS DES SCIENCES

### LES ÉTOILES

Vie et mort des soleils lointains

JAMES KALER



## LES ÉTOILES

Ce livre expose l'origine et la nature de nos connaissances sur les étoiles, avant de les décrire dans leur dynamique et leur devenir. Les objets célestes les plus insolites, géantes rouges, supernovae, pulsars et trous noirs, s'insèrent alors naturellement dans le récit de l'évolution stellaire.

272 pages - 220 F  
code 1892

POUR LA  
**SCIENCE**  
DIFFUSION BELIN

Bon de commande en p.98

# Des plantes à sang chaud

ROGER SEYMOUR

*Certaines fleurs dégagent une grande quantité de chaleur lorsqu'elles fleurissent. Quelques-unes d'entre elles règlent même leur température dans d'étroites limites, comme des animaux à sang chaud.*

**A**u printemps 1972, à Los Angeles, le zoologiste George Bartholomew organisa une soirée pour ses étudiants et ses collègues. Un de ses invités, Daniel Odell, cheminait avec les autres quand il remarqua quelques fleurs spectaculaires : elles étaient composées d'une structure d'aspect phallique, longue d'une vingtaine de centimètres, qui était partiellement enveloppée d'une structure ressemblant à une feuille. Intrigué, D. Odell en cueillit une pour nous la montrer : la fleur était chaude ! Mieux encore, la température de cette fleur augmenta progressivement, jusqu'à devenir supérieure à celle du corps humain. Les zoologistes que nous étions furent ébahis : comment une simple plante osait-elle atteindre une température supérieure à celle des fleurons de l'évolution, les animaux à sang chaud ?

Depuis ce jour, je suis à la chasse des plantes «à sang chaud» et je les analyse dès que je peux ravir quelques heures à mon programme de recherches sur les animaux. Nous avons notamment découvert quelques plantes capables de produire autant de chaleur par unité de masse que des oiseaux et des insectes en vol,

qui sont pourtant les plus grands producteurs de chaleur. En outre, certaines de ces plantes règlent leur température tout comme le font les oiseaux ou les mammifères ; elles peuvent même ajuster leur production de chaleur et conserver une température aussi constante que possible malgré les fluctuations de la température de l'air.

Nous n'avons pas été les premiers à découvrir que certaines plantes dégagent de la chaleur : en 1778, Jean-Baptiste de Lamarck avait signalé qu'un arum européen (probablement *Arum italicum*) devenait chaud lorsqu'il fleurissait. Cette plante fait

partie de l'immense famille des aracées, qui comprend les philodendrons tels ceux que nous avons observés, l'arum à capuchon (*Arisaema triphyllum*), le chou aux mouffettes et bien d'autres plantes familières. Dans cette famille des arums, la partie florale est nommée spadice ; ce n'est pas une vraie fleur, mais plutôt une «inflorescence», c'est-à-dire une grappe de petites fleurs ou fleurons. Le spadice des arums, avec ses centaines de fleurons regroupés sur une tige commune, est partiellement enveloppé d'une grande bractée, ou feuille spécialisée, nommée spathe.

Après Lamarck, les botanistes ont découvert plusieurs autres aracées et des plantes d'autres groupes qui possèdent également la capacité de s'échauffer : nénuphar de l'Amazonie, goyave, certains palmiers et certaines cycadées. Plusieurs botanistes, tel Bastiaan Meeuse, de l'Université de Washington, ont en partie révélé le mécanisme de la production de la chaleur par les cellules végétales.

Chez les arums, deux voies biochimiques sont simultanément activées dans les mitochondries, qui sont les organites intracellulaires assurant la production d'énergie des cellules. Une de ces deux voies seulement est sensible aux ions cyanure, composés d'un atome de carbone lié à un atome d'azote ; elle est commune aux animaux et aux plantes. L'autre voie métabolique, insensible à ce poison, existe chez les plantes productrices de

## ***Philodendron selloum***

Température de la fleur :

38 à 46°C

Pour des températures de l'air comprises entre 4 et 39 °C

Durée de la période de régulation :

18 à 24 heures



**1. ON CONNAÎT TROIS PLANTES** qui règlent leur température : *Philodendron selloum*, *Symplocarpus foetidus* (le chou des mouffettes) et *Nelumbo nucifera* (le lotus sacré).