



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.

Au 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 avions 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).

chaleur, chez certaines autres plantes, chez des champignons et chez certains organismes unicellulaires. Dans les deux cas, l'énergie provient de diverses molécules énergétiques et d'oxygène, qui réagissent en formant une molécule riche en énergie nommée ATP (adénosine triphosphate) ; la décomposition ultérieure de celle-ci fournit l'énergie indispensable aux diverses activités cellulaires ou à la production de chaleur. On ignore toutefois si l'échauffement des cellules d'arums s'effectue par synthèse, puis dégradation d'ATP, ou si la chaleur est directement libérée par les voies métaboliques, sans production intermédiaire d'ATP.

Un philodendron à sang chaud

Nous avons d'abord étudié *Philodendron selloum* d'un tout autre point de vue : au lieu d'examiner des cellules ou des molécules individuelles, comme l'avaient fait la plupart des botanistes, nous avons étudié les inflorescences comme si elles étaient un animal complet. Comme G. Bartholomew et ses collègues de l'Université de Los Angeles effectuaient des études comparatives de la production de chaleur et de la régulation de la

température corporelle chez les animaux, nous disposions de toutes les méthodes et de tous les équipements requis. Nous avons également le matériel végétal à portée de main : de nombreux philodendrons étaient en fleur juste sous les fenêtres du laboratoire.

Nous avons d'abord vérifié que les inflorescences devenaient aussi chaudes qu'il nous l'avait semblé lors de la soirée donnée par G. Bartholomew : nous avons planté des sondes dans les spadices et relié celles-ci à un ordinateur qui enregistrait en continu les températures mesurées. Alors que la température de l'air extérieur était en moyenne de 20 °C, celle des spadices était proche de 40 °C!

Comme nous ne maîtrisons pas les variations de température à l'extérieur, nous avons coupé quelques spécimens et les avons placés dans des logettes climatisées où nous pouvions régler la température. De la sorte, nous pouvions, en outre, déterminer la production de chaleur par la mesure de la consommation d'oxygène, car ces deux phénomènes sont liés (chez les animaux, la consommation d'un centimètre cube d'oxygène s'accompagne d'une production de chaleur de 20 joules).

Nous avons alors examiné ces inflorescences à des températures variées, inférieures à 0 °C aussi bien que supérieures à 50 °C. Si certaines de ces inflorescences ne parvenaient pas à se réchauffer aux températures les plus basses, leur température atteignait 38 °C quand la température ambiante était seulement de 4 °C. Aux températures ambiantes supérieures à 4 °C, la température des inflorescences coupées continuait d'augmenter, mais avec une différence moindre entre la température ambiante et la température de la plante, la température des inflorescences atteignant 46 °C lorsque la logette climatisée était à la température de 39 °C.

Ainsi les philodendrons peuvent ajuster leur production de chaleur pour maintenir leurs inflorescences au chaud lorsque le temps est froid, mais aussi pour éviter une surchauffe quand il fait déjà chaud. Quelle surprise! Non seulement ces fleurs produisaient de la chaleur, comme les animaux, mais elles assuraient leur régulation thermique, tout comme les animaux à sang chaud tels que les oiseaux et les mammifères.

Deux ans après ces expériences, Roger Knutson, du Collège Luther, dans l'Iowa, signala que le spadice du chou aux mouffettes, *Symplocarpus foetidus*, maintenait sa température entre 15 et 24 °C pendant au moins deux semaines,

vers la fin de l'hiver, alors que les températures étaient encore négatives (la plante serait même capable de faire fondre la neige autour d'elle).

Puis, en 1996, Paul Schultz-Motel et moi-même avons découvert que le lotus sacré, *Nelumbo nucifera*, maintient sa température aux alentours de 32 °C pendant deux à quatre jours au milieu de sa

période de floraison estivale, même lorsque la température de l'air est inférieure à 10 °C. Dans ce cas, c'est le réceptacle, la partie centrale de la fleur en forme de cône spongieux, qui produit l'essentiel de la chaleur. Le lotus sacré appartient à une famille botanique différente de celle du philodendron et du chou aux mouffettes, ce qui suggère que le phénomène de régulation thermique a évolué de manière indépendante chez le lotus et chez les arums.

À quoi sert la régulation de la température chez les plantes? Chez les oiseaux et chez les mammifères, la régulation de la température permet aux cellules de

Lotus sacré

Température de la fleur : 30 à 37 °C
Pour des températures de l'air comprises entre 10 et 35 °C
Durée de la période de régulation : deux à quatre jours

