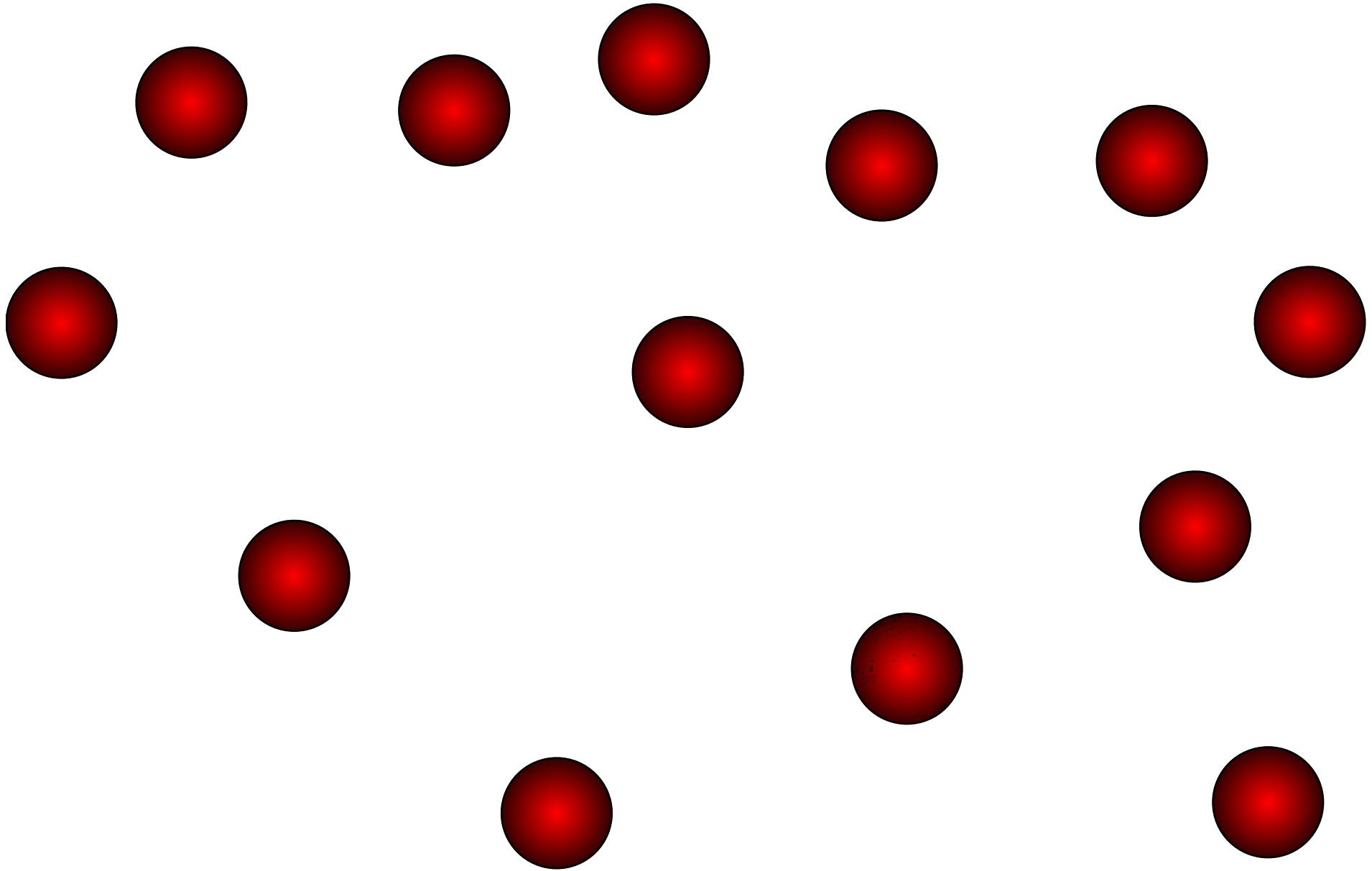
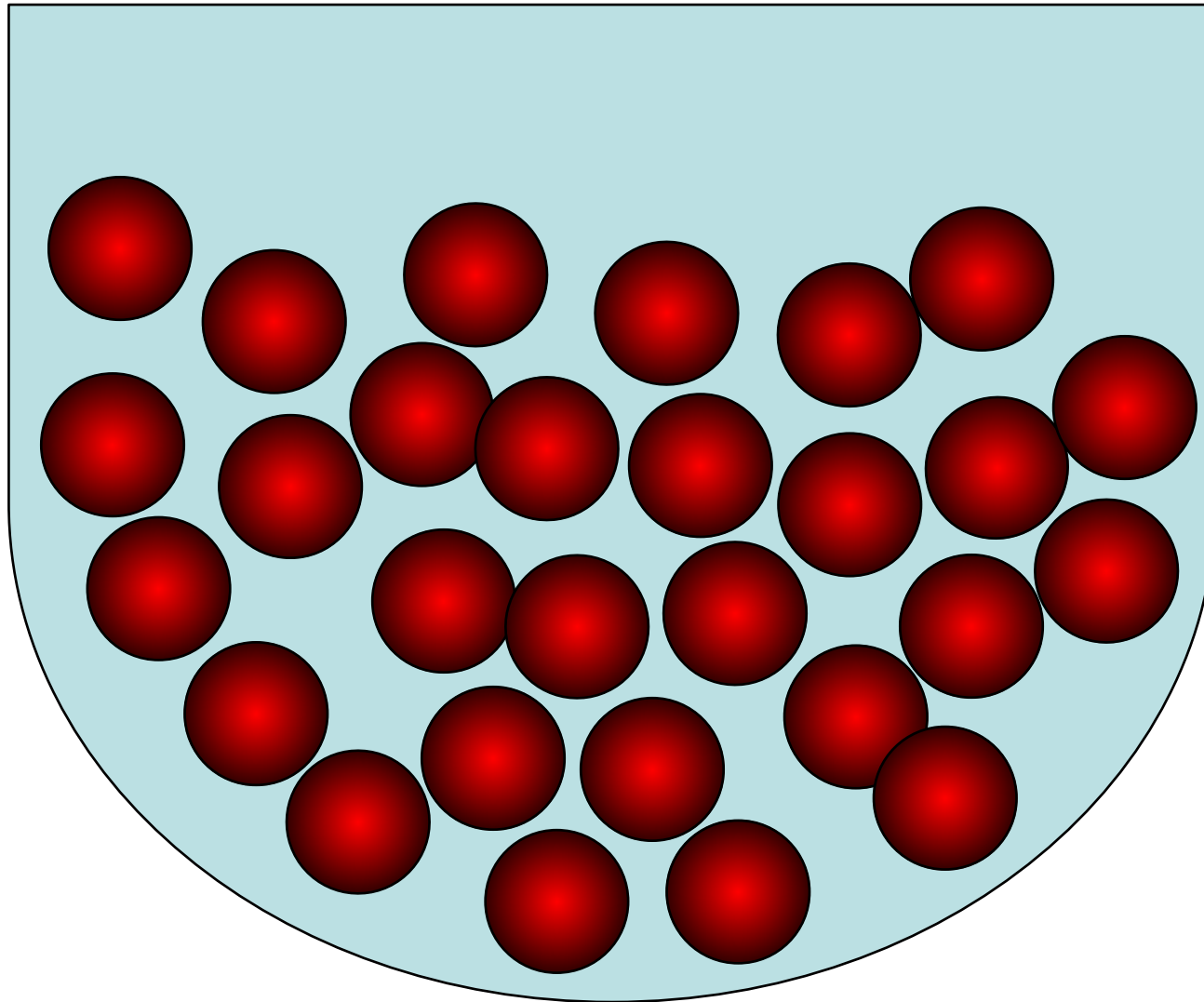


les solides à basse température

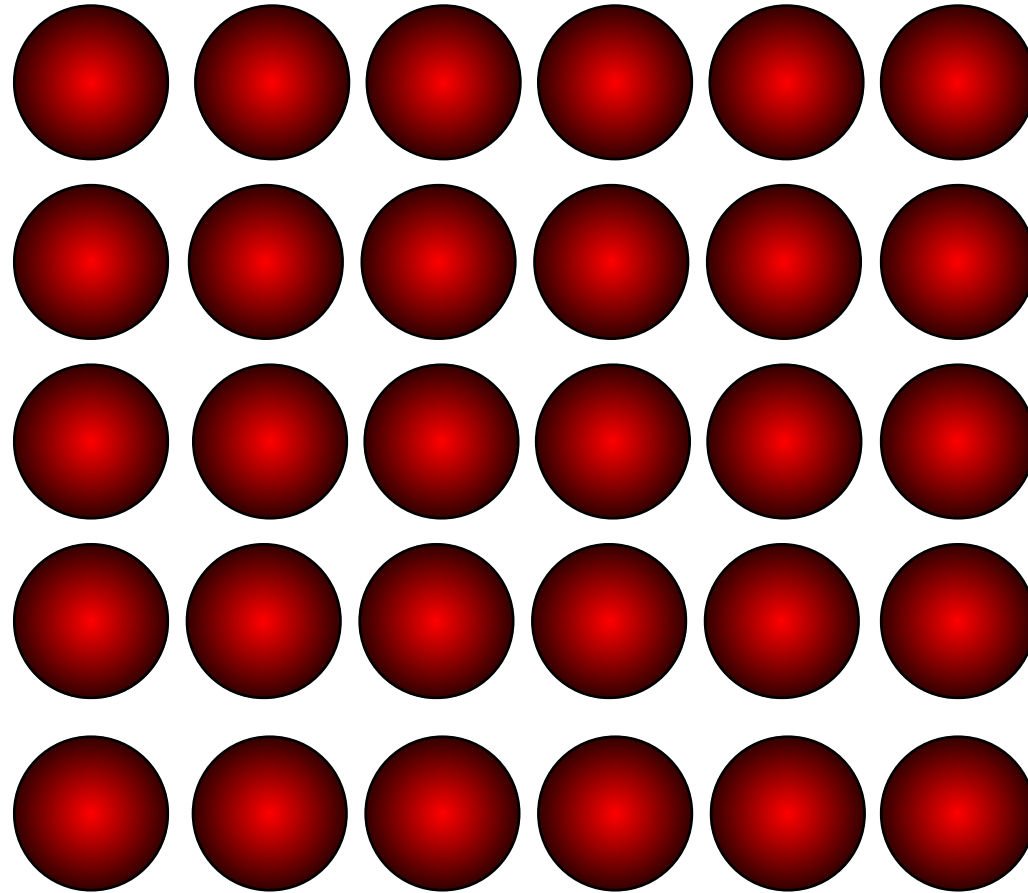
La matière s'organise



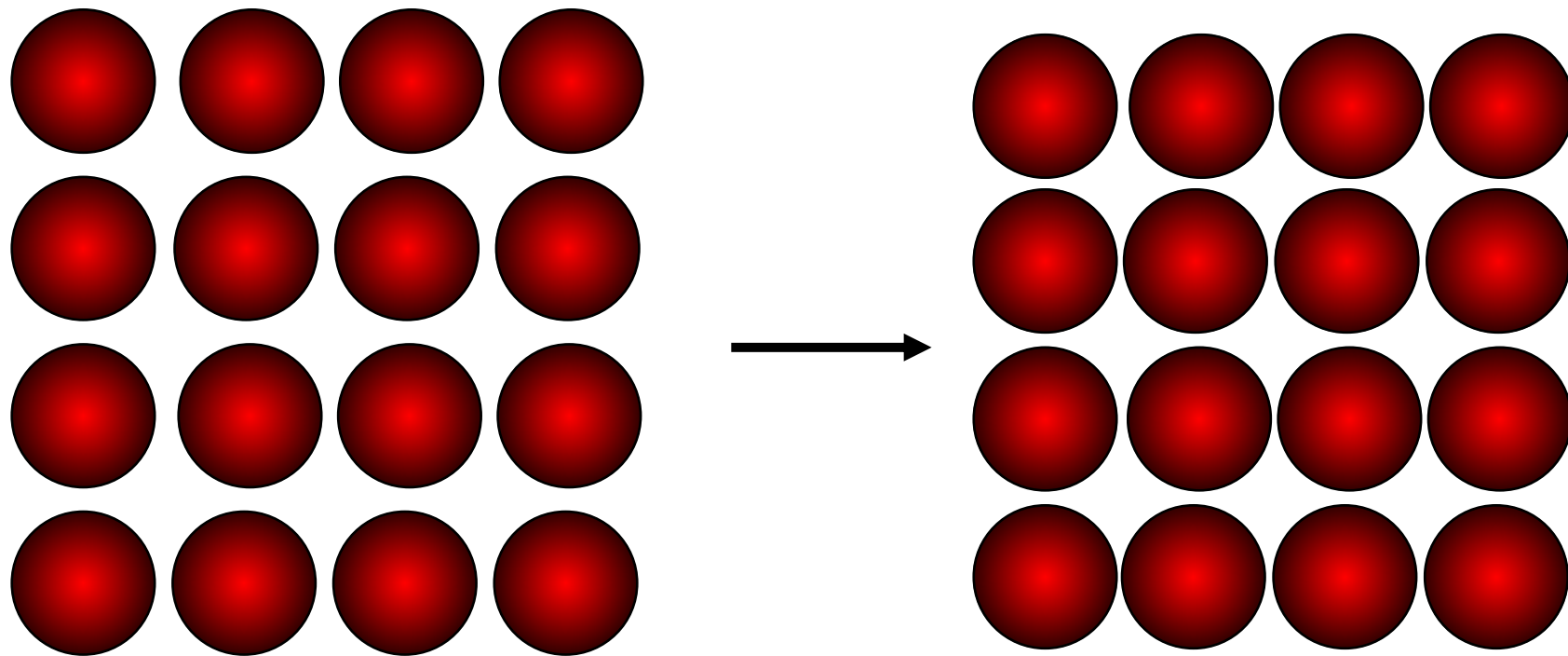
liquide



Un solide

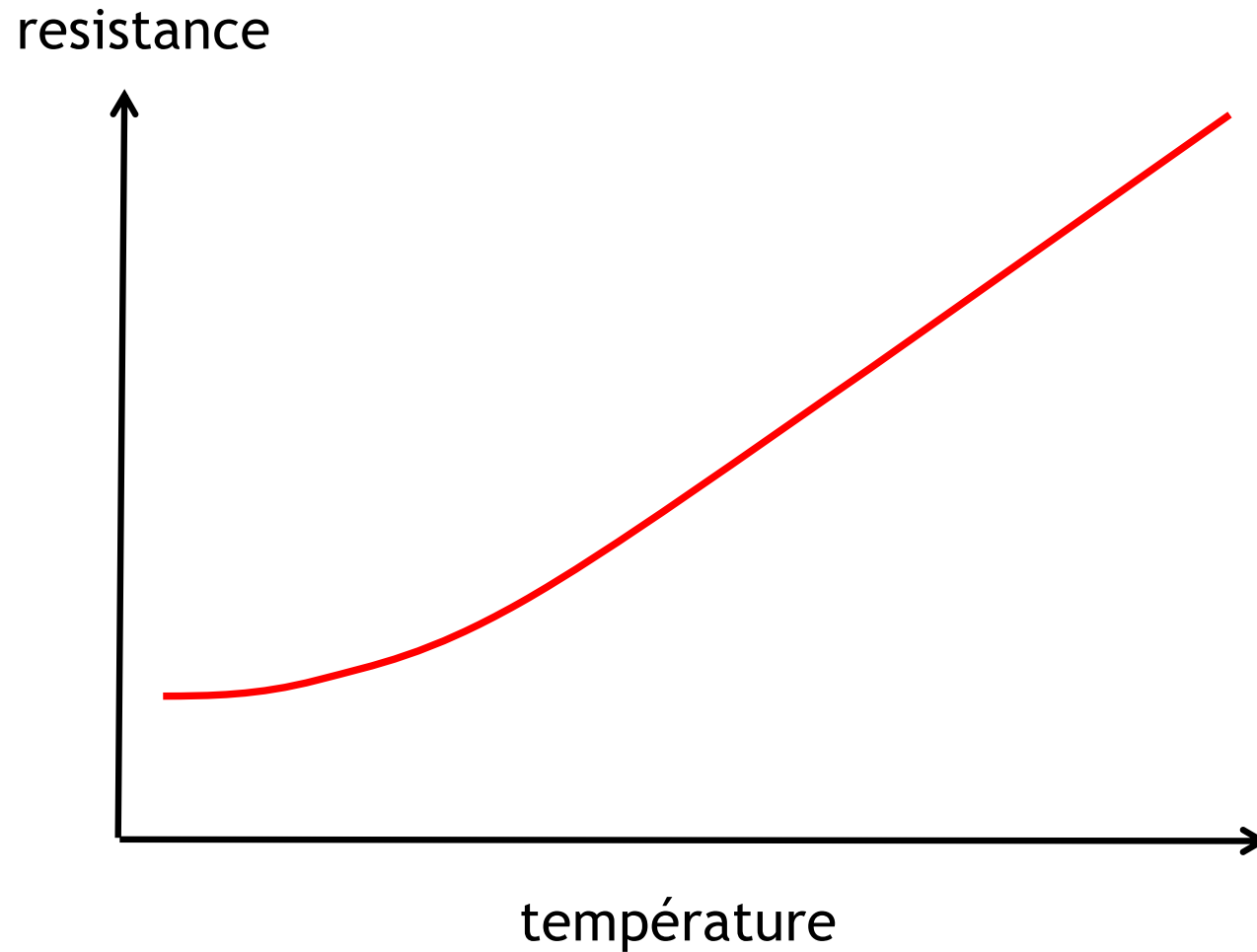


les atomes vibrent de moins en moins.
Les solides se contractent



Certains deviennent plus cassants :
plastiques mous, ce qui contient de l'eau

les métaux conduisent mieux à basse température



mais il y a des surprises...

« Petites histoires quantiques »

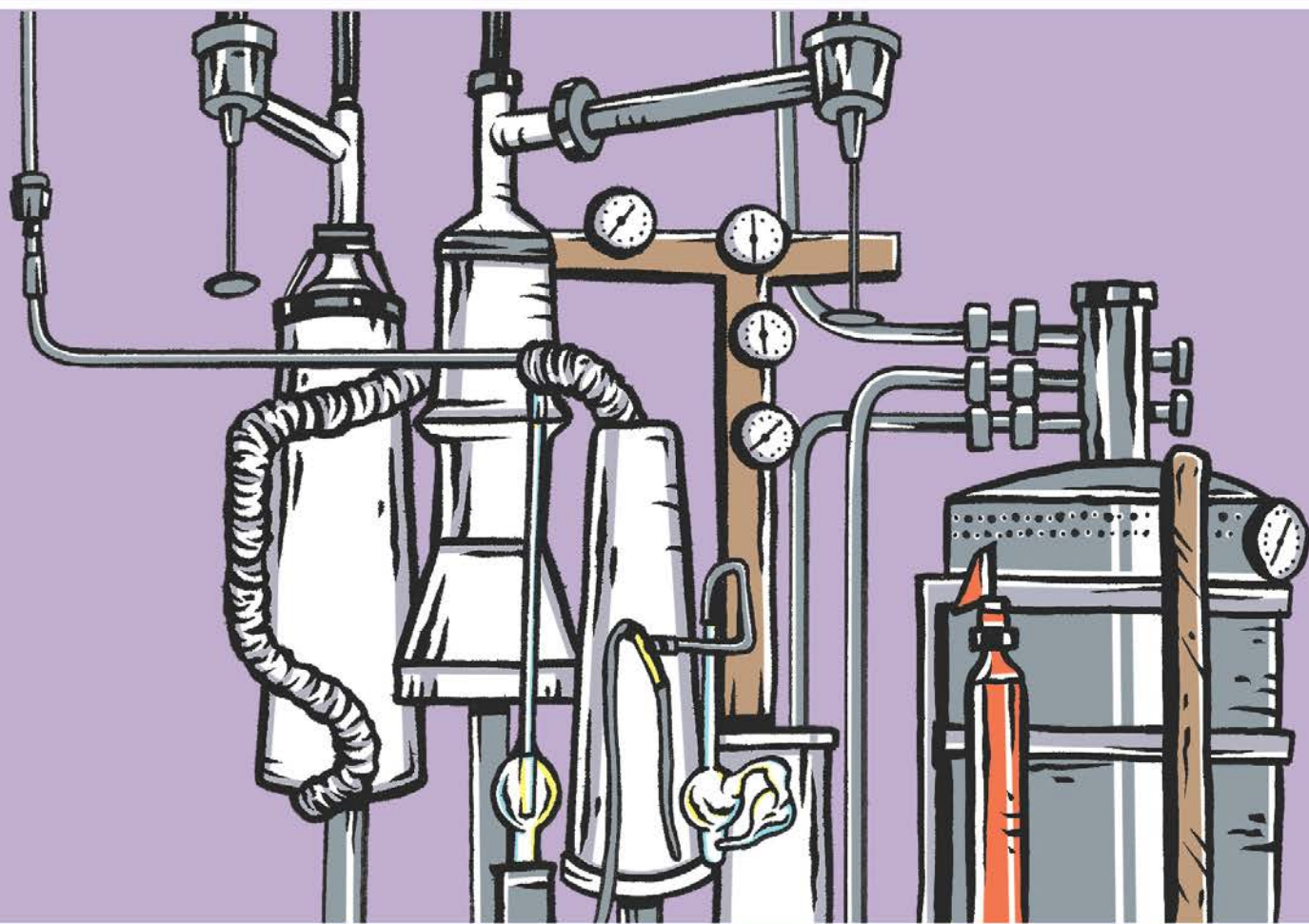
*un nouveau système de médiation
réalisé avec Marine Joumard (Ecole Estienne)*



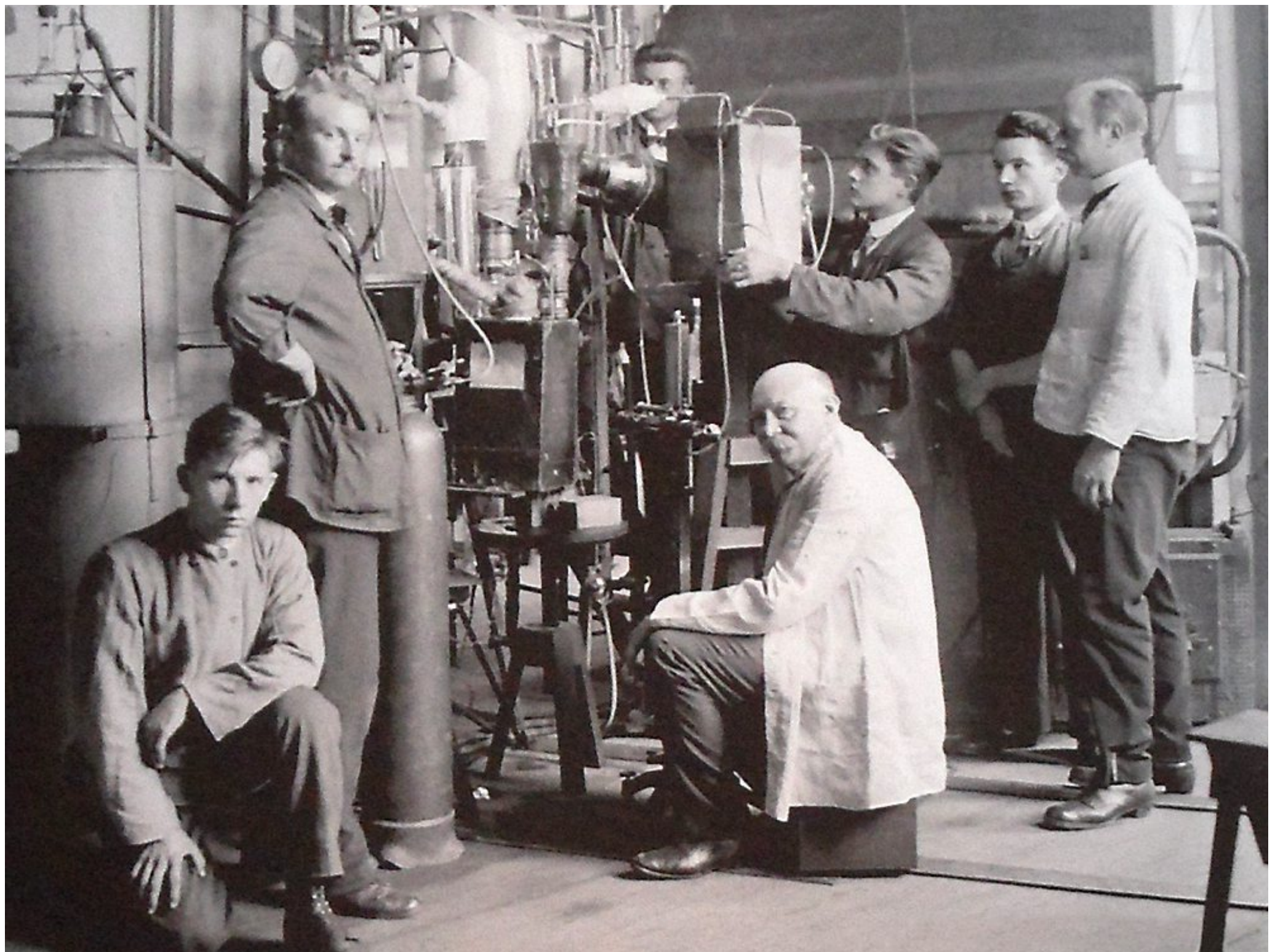
UNIVERSITÉ DE LEYDE, PAYS-BAS

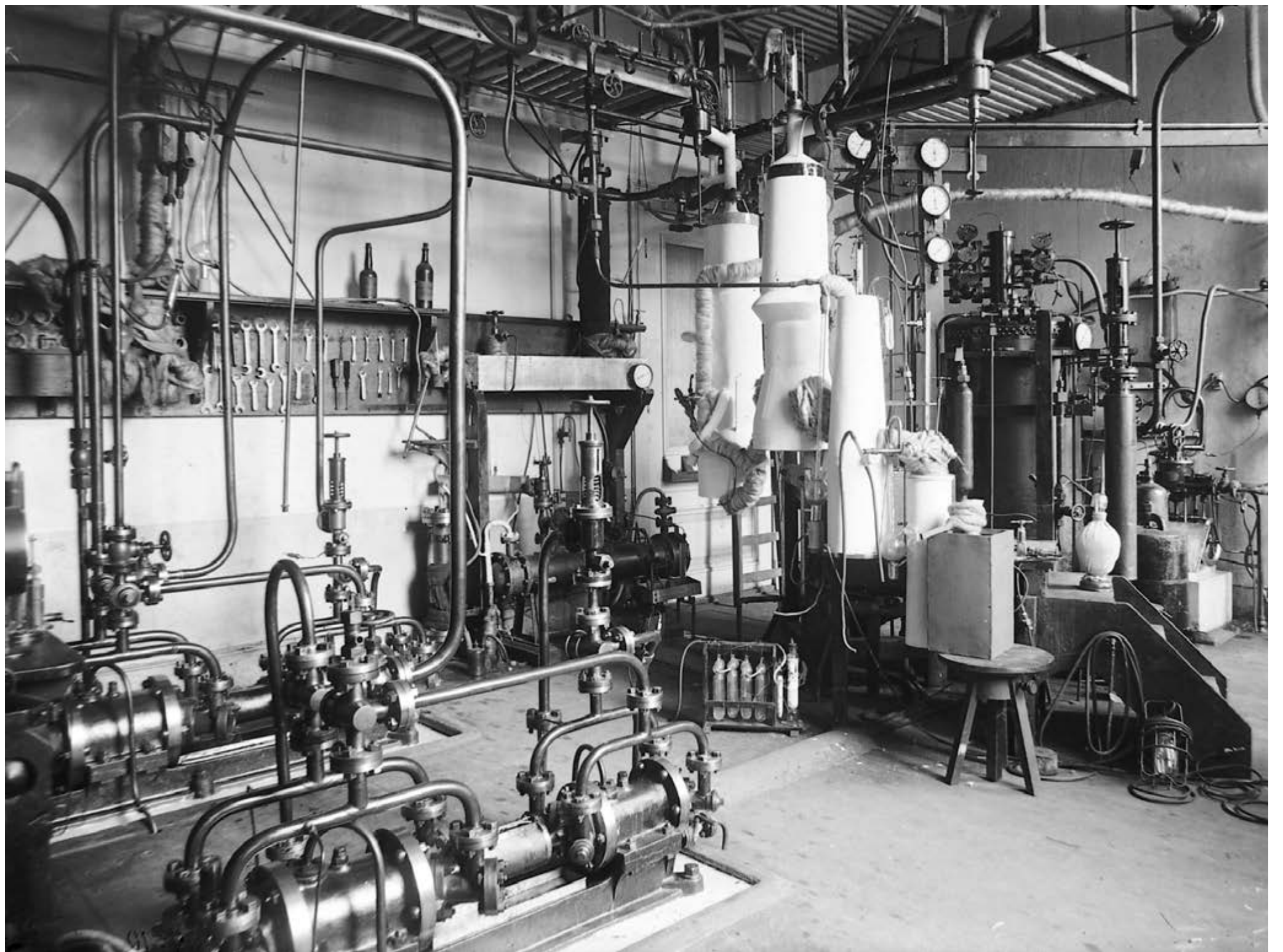


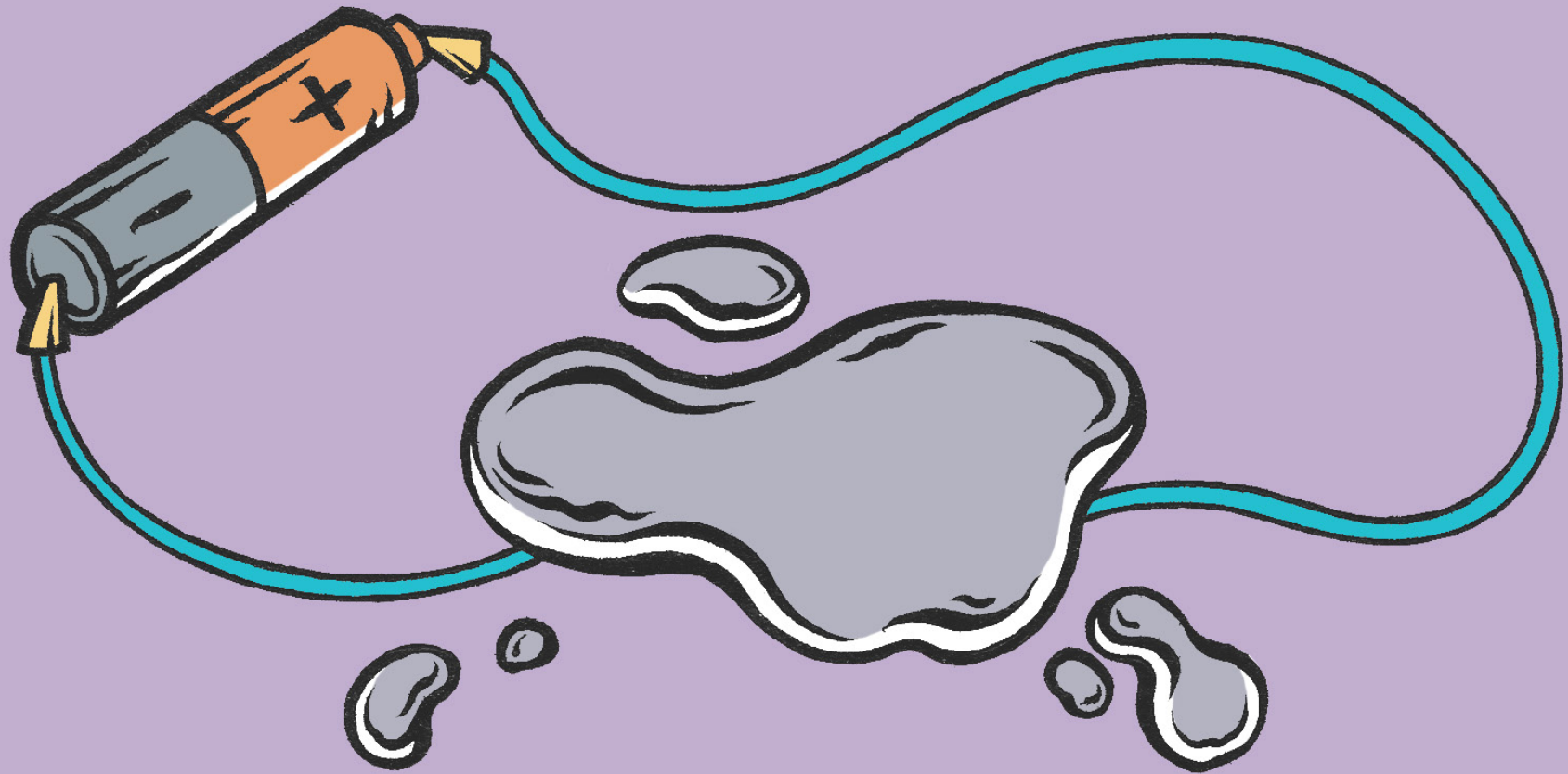
K. ONNES



LE LABO



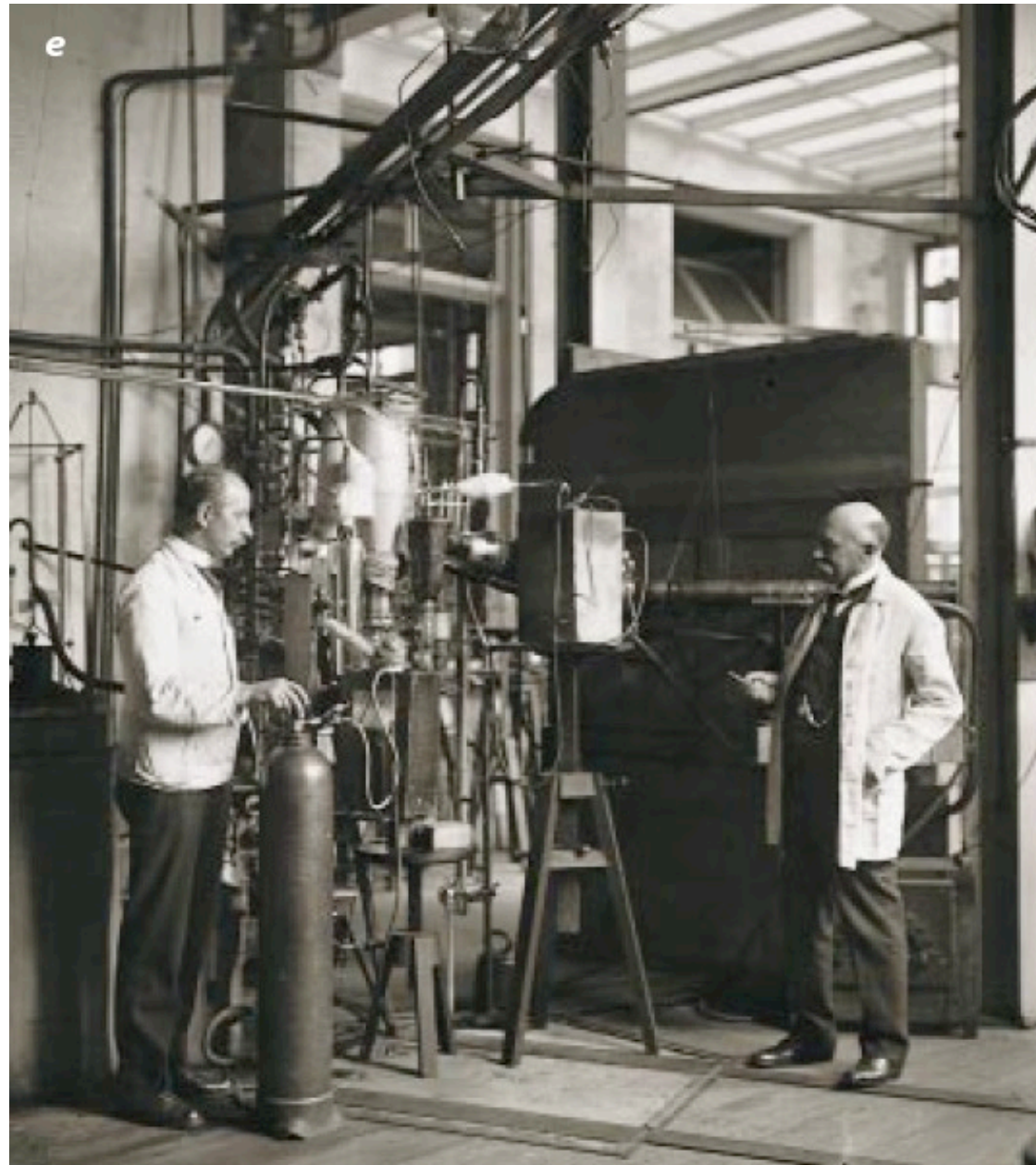





LA QUESTION

Un métal, ici le mercure, conduit-il mieux ou moins bien à basse température ?

Le 8 avril 1911 : la découverte

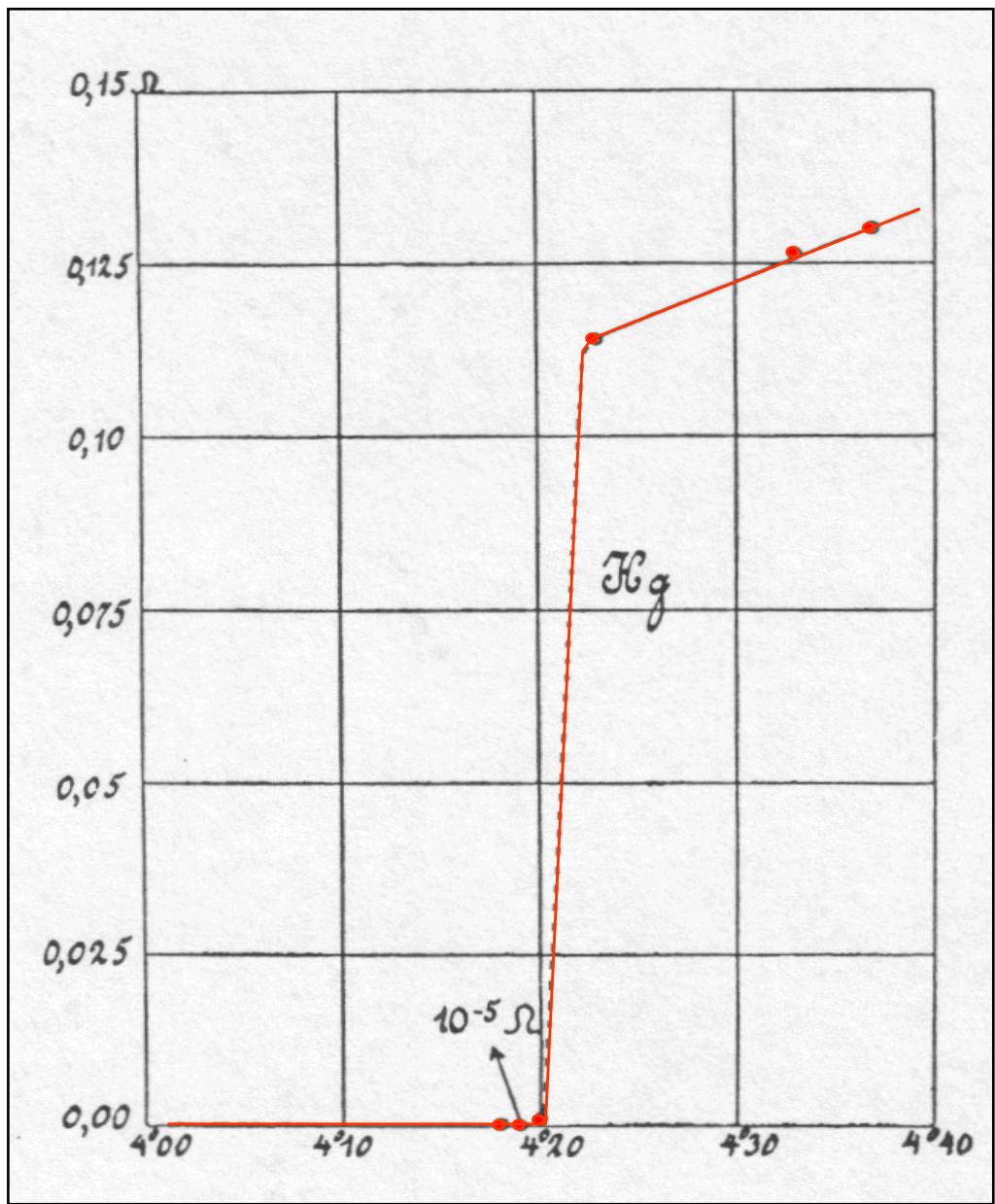


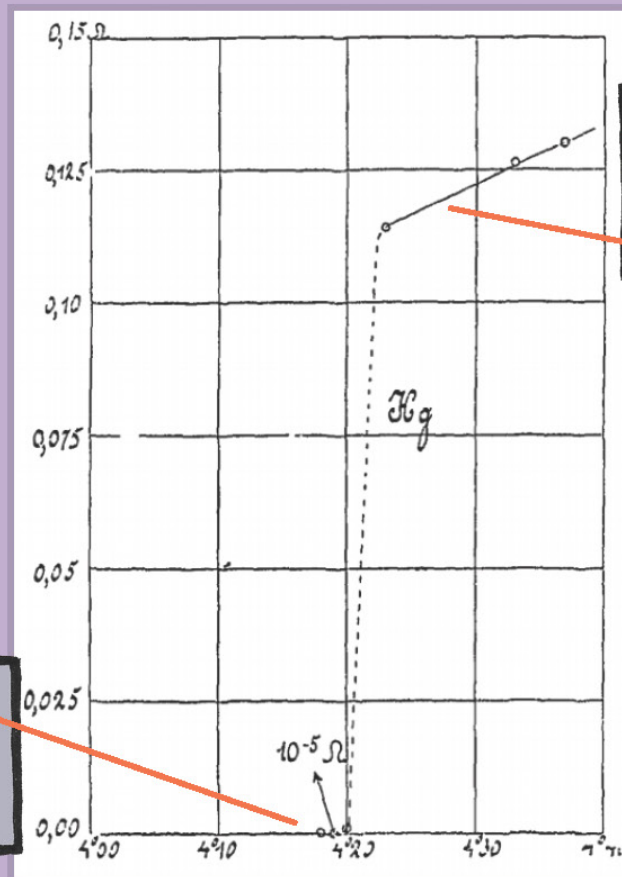
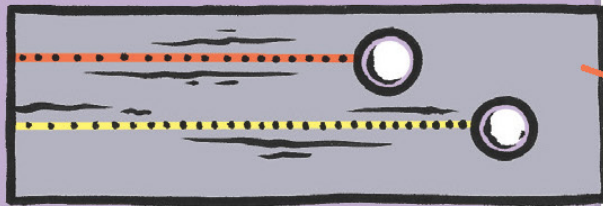
200 klein mogelijk te maken. De temp
 en heling ergens in my, met gelken -200°
 12^h 40' gewalt met heling
 12^h 47' pompje werkt, niet van vlak
 WBB in de breuk pompje. Pompje werkt
 prachtig 1^h 2' ^{hooft} ~~stroom~~

 is niet op te maken omdat
 er iets om kraantje gelokt is
 waansborst om een schelpje, 1^h 4' gewalt
 tot vlak bij vrijheid van 2 cm onder
 geometrisch gelid van een van de
 hul. Delectisch constant gemeten, geheel
 bevestigd. Temperatuur gemeten
 2^h 15' geen verdamping tot 12^h 47'
 2 40' weer te gewalt, bij 12^h 40' van
 daarna er niets merkbaar. Merken
 heling in al bij. 12^h 40' in 12^h 40' van
 richting goed gemeten herhaald, met andere
 temp om de zaak.

température mesurée avec succès

index

Dammes huff ook gecontroleerd 0 punt,
 waansborst ook in goede bol.
 Verdampf burtangemeten met hussien
 3^h 30' nieuw bij gebrek naar het gemiddelde van
 Concluen dat verdamping van de heling
 actus gering - spec. naamk van kapt
 Korte stijng en byende van de.
 3^h 50' gradecent verdampf men
 hul, tot op 14, 7 an gemidd. stont
 om rustiger, gelukkig was er nog een
 schent bythonen, die waansborsting
 in boudert tot heel stont.
 4^h 15' op gemeten temp pompje. De waans
 om Temperatuur is gelokt. Kritiek op mijn
Werkje met goed.
 Staat halve met stat. Leenijer is bij gewalt men
 merkbaar. **mercure presque à zéro**
 Daar er nog, lichte en vullig is, ^{bulke} ~~merken~~
 Althans thans na te gaan. Dije geeft
 geen merkbaar verschil. Met Corp





LE RÉSULTAT

La résistance électrique du mercure chute brutalement à zéro à basse température.
Le métal conduit parfaitement : c'est la supraconductivité.

decide, a theory of course which first of all takes account of the fundamental chemical facts which we mentioned above, but which further succeeds in avoiding the drawbacks — particularly with respect to the specific heats — which adhere to the hypothesis on the chemical forces sketched more at length in our previous paper. And then it cannot be doubtful, in our opinion, by what way we shall have to try to find such a theory. We shall have to extend the theory of indivisible units of energy, which has led to such remarkable results, to the chemical phenomena; it will be necessary to investigate in what way the properties of the reversible chemical reactions are connected with the phenomena of radiation. When this connection has been found, the course is indicated to calculate the difference of entropy of a chemical reaction by the aid of the statistical theory of entropy at temperatures at which this reaction can actually take place, and then it will be very simple to calculate by the aid of the acquired knowledge of the specific heats the difference of entropy also for temperatures, at which there can no longer be question of chemical reactions.

One of us has been occupied with this question, and hopes to be able before very long to publish further communications on this subject.

Physics. — “Further Experiments with Liquid Helium. G. On the Electrical Resistance of Pure Metals, etc. VI. On the Sudden Change in the Rate at which the Resistance of Mercury Disappears.” By H. KAMERLINGH ONNES. Communication N°. 124c from the Physical Laboratory at Leyden.

(Communicated in the meeting of November 25, 1911).

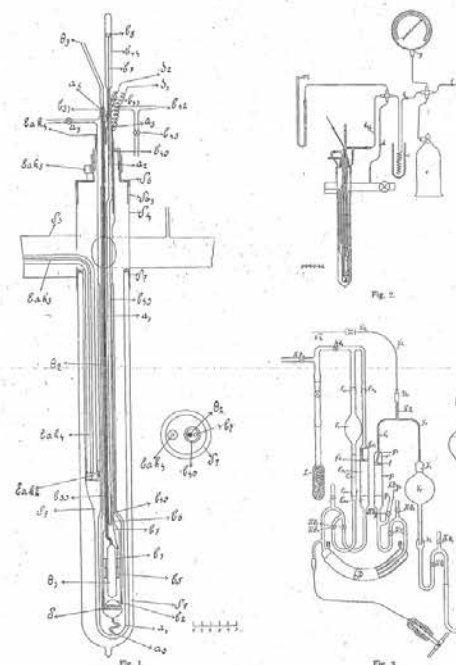
§ 1. *Introduction.* In Comm. N°. 122b (Proc. May 1911) I mentioned that just before this resistance disappeared practically altogether, its rate of diminution with falling temperature became much greater than that given by the formula of Comm. N°. 119. In the present paper a closer investigation is made of this phenomenon.

§ 2. *Arrangement of the resistance.* A description was given in Comm. N°. 123 (Proc. June 1911) of the cryostat which, by allowing the contained liquid to be stirred, enabled me to keep resistances at uniform well-defined temperatures; and in that paper I also mentioned that measurements of the resistance of mercury at the lowest possible temperatures had been repeated using a mercury resistance with mercury leads. The immersion of a resistance with such leads in a bath of liquid helium was rendered possible only by the successful construction of that cryostat.

The accompanying Plate, which should be compared with the Plate of Comm. N°. 123, shows the mercury resistance with a portion of the leads; it is represented diagrammatically in fig. 1. Seven glass U-tubes of about 0.005 sq. mm. cross section are joined together at their upper ends by inverted Y-pieces which are sealed off above, and are not quite filled with mercury; this gives the mercury an opportunity to contract or expand on freezing or liquefying without breaking the glass and without breaking the continuity of the mercury thread formed in the seven U-tubes. To the Y-pieces b_1 and b_2 are attached two leading tubes Hg_1 , Hg_2 , and Hg_3 , Hg_4 (whose lower portions are shown at Hg_{1a} , Hg_{2a} , Hg_{3a} , Hg_{4a}) filled with mercury which, on solidification, forms four leads of solid mercury. To the connector b_1 is attached a single tube Hg_5 , whose lower part is shown at Hg_{5a} . At b_1 and b_2 current enters and leaves through the tubes Hg_1 and Hg_2 ; the tubes Hg_3 and Hg_4 can be used for the same purpose or also for determining the potential difference between the ends of the mercury thread. The mercury filled tube Hg_5 can be used for measuring the potential at the point b_1 . To take up less space in the cryostat and to find room alongside the stirring pump S_0 , the tubes which are shown in one plane in fig. 1 were closed together in the manner shown in fig. 2. The position in the cryostat is to be seen from fig. 4 where the other parts are indicated by the same letters as were used in the Plate of Comm. N°. 123. The leads project above the cover S_0 , in a manner shown in perspective in fig. 3. They too are provided with expansion spaces, while in the bent side pieces are fused platinum wires Hg_1' , Hg_2' , Hg_3' , Hg_4' , Hg_5' which are connected to the measuring apparatus. The apparatus was filled with mercury distilled over in vacuo at a temperature of 60° to 70° C. while the cold portion of the distilling apparatus was immersed in liquid air.

§ 3. *Results of the Measurements.* The junctions of the platinum wires with the copper leads of the measuring apparatus were protected as effectively as possible from temperature variation. The mercury resistance itself with the mercury leads, which served for the measurement of the fall of potential seemed, however, on immersion in liquid helium to be the seat of a considerable thermo-electric force in spite of the care taken to fill it with perfectly pure mercury. The magnitude of this thermo-electric effect did not change much when the resistance was immersed in liquid hydrogen or in liquid air instead of in liquid helium, and we may therefore conclude that it is intimately connected with phenomena which occur in the neigh-

H. KAMERLINGH ONNES. "Further Experiments with Liquid Helium. V. Isotherms of Helium Gase etc. IX. Thermal Properties of Helium."



Proceedings Royal Acad. Amsterdam, Vol. XIV.

L'ARTICLE

Further experiments with Liquid Helium
Com. N°124c from the Phys. Lab. at Leyden, 1911



K.ONNES, PRIX NOBEL, 1913

Pour ses recherches sur les propriétés de la matière aux basses températures, qui conduisirent, entre autres, à la production d'hélium liquide.

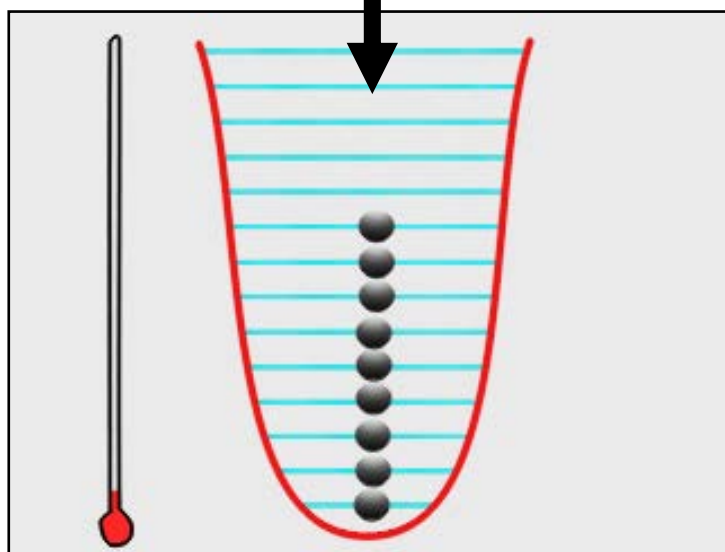
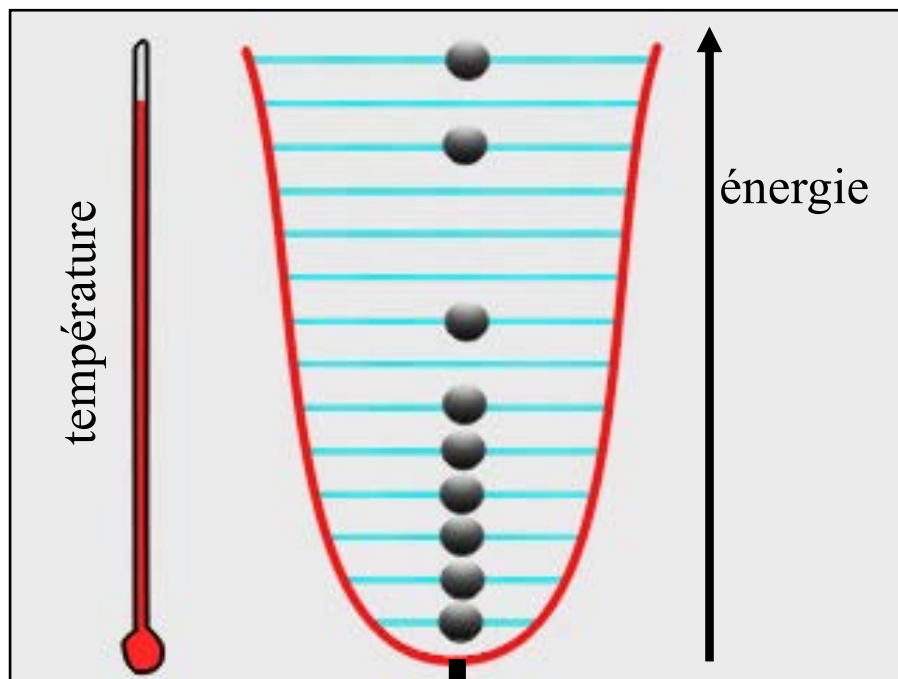


AUJOURD'HUI

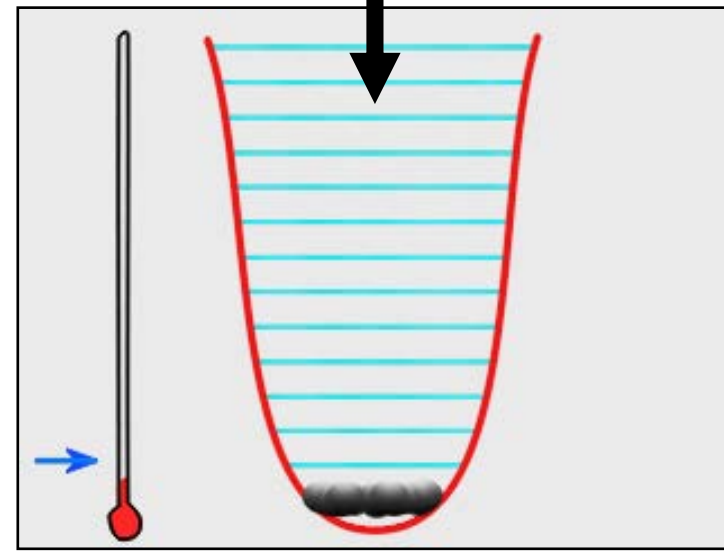
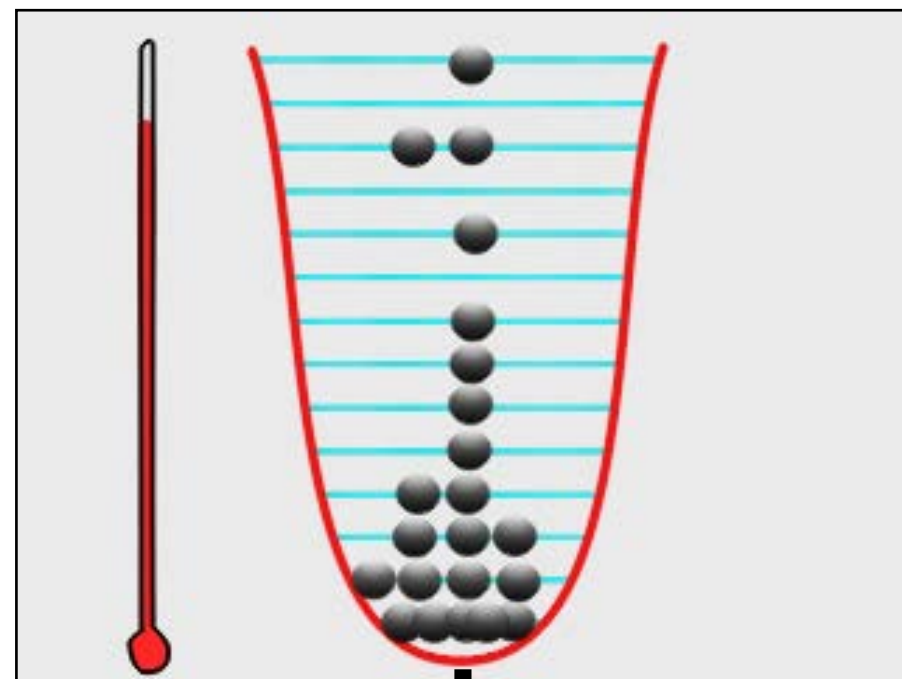
train à lévitation : le plus rapide au monde, imagerie médicale : par résonance magnétique, câbles électriques : conduisent mieux le courant

Condensation de Bose Einstein

Fermions

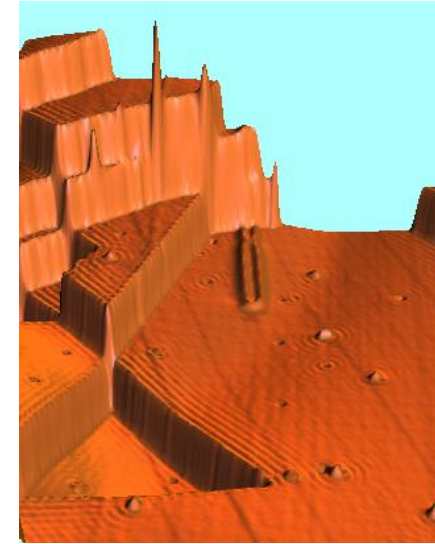


Bosons



Le principe de la condensation

Dans un gaz ou un liquide, les atomes sont caractérisés par leur fonction d'onde (dans un métal, les électrons)

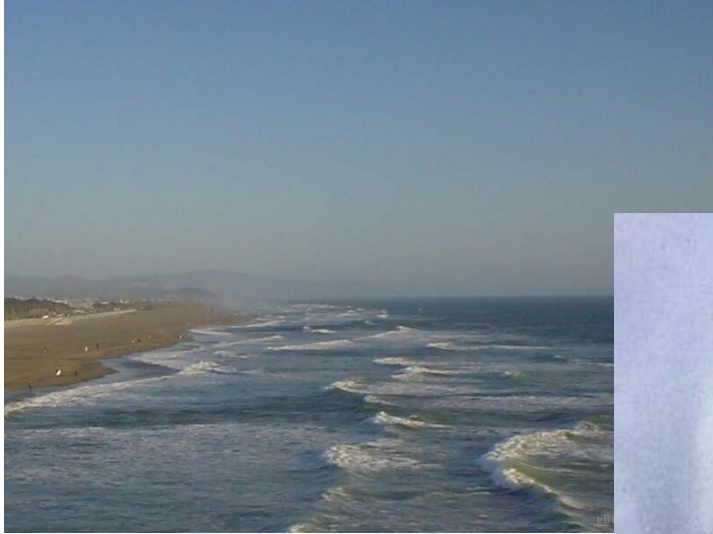


*Condensation de Bose-Einstein : formation d'une seule fonction d'onde quantique **macroscopique***

- *Analogie à la lumière laser*
- *Possible seulement à très basse température*

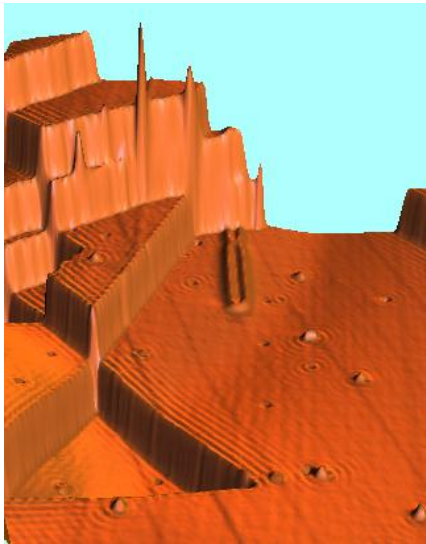


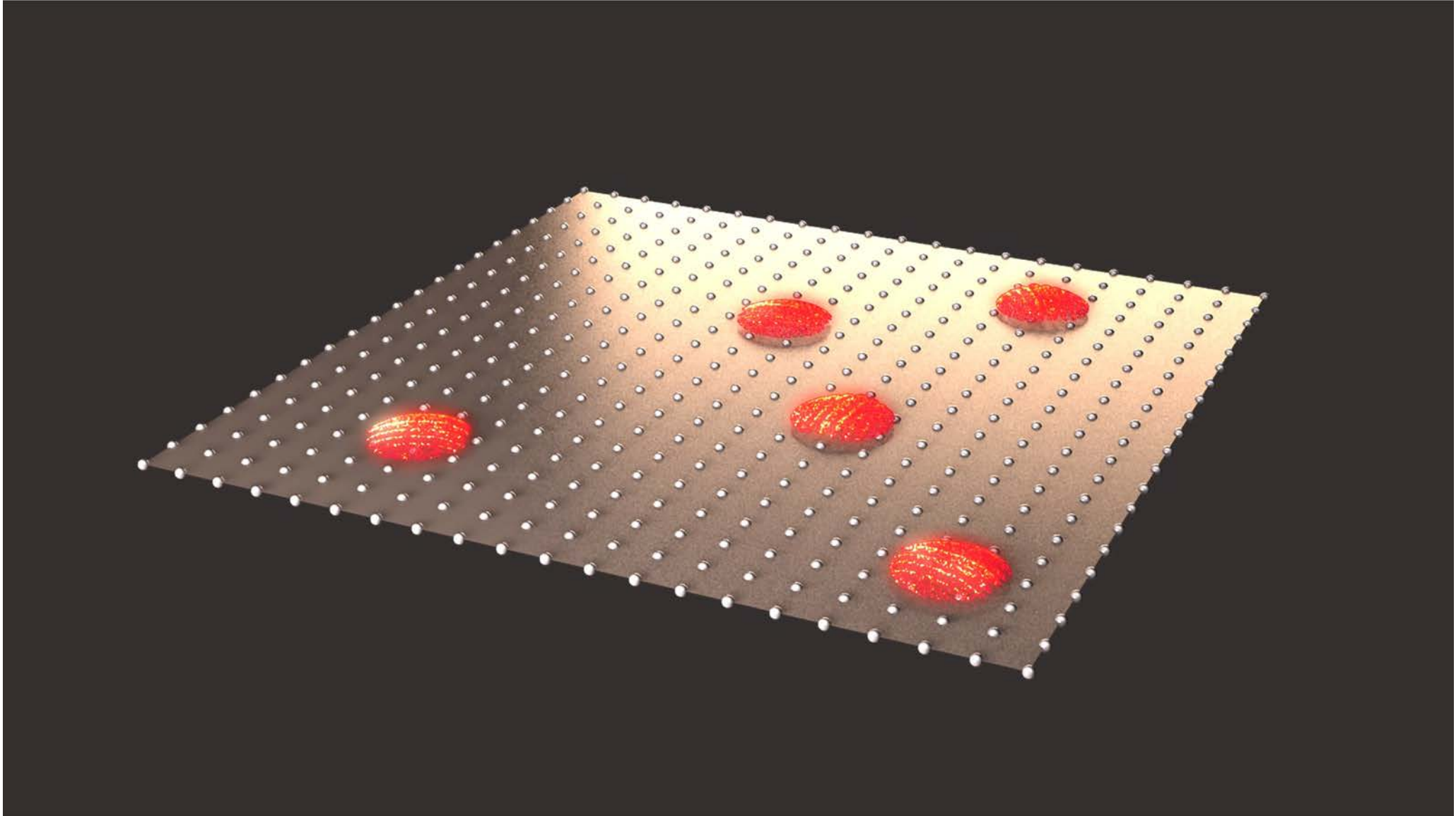
Le « condensat » quantique



D'où vient la supraconductivité ?

Il faut à partir de fermions (les électrons) faire un condensat de bosons !







PHYSICAL REVIEW

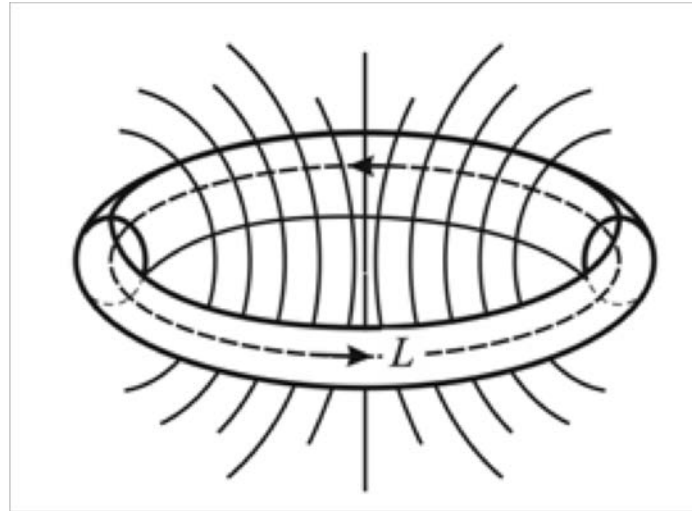
A theory of supercon
that the interaction b
exchange of phonons i
between the electrons
energy, $\hbar\omega$. It is favora
this attractive interac
Coulomb interaction. T

individual-particle model. The ground state of a superconductor, formed from a linear combination of normal state configurations in which electrons are virtually excited in pairs of opposite spin and momentum, is lower in energy than the normal state by an amount proportional to an average $(\hbar\omega)^2$, consistent with the

an energy gap for individual-particle excitations which decreases from about $3.5kT_c$ at $T=0^\circ\text{K}$ to zero at T_c . Tables of matrix elements of single-particle operators between the excited-state superconducting wave functions, useful for perturbation expansions and calculations of transition probabilities, are given.

Un point remarquable : l'émergence

mesure du flux magnétique dans un anneau supra :



VOLUME 7, NUMBER 2

PHYSICAL REVIEW LETTERS

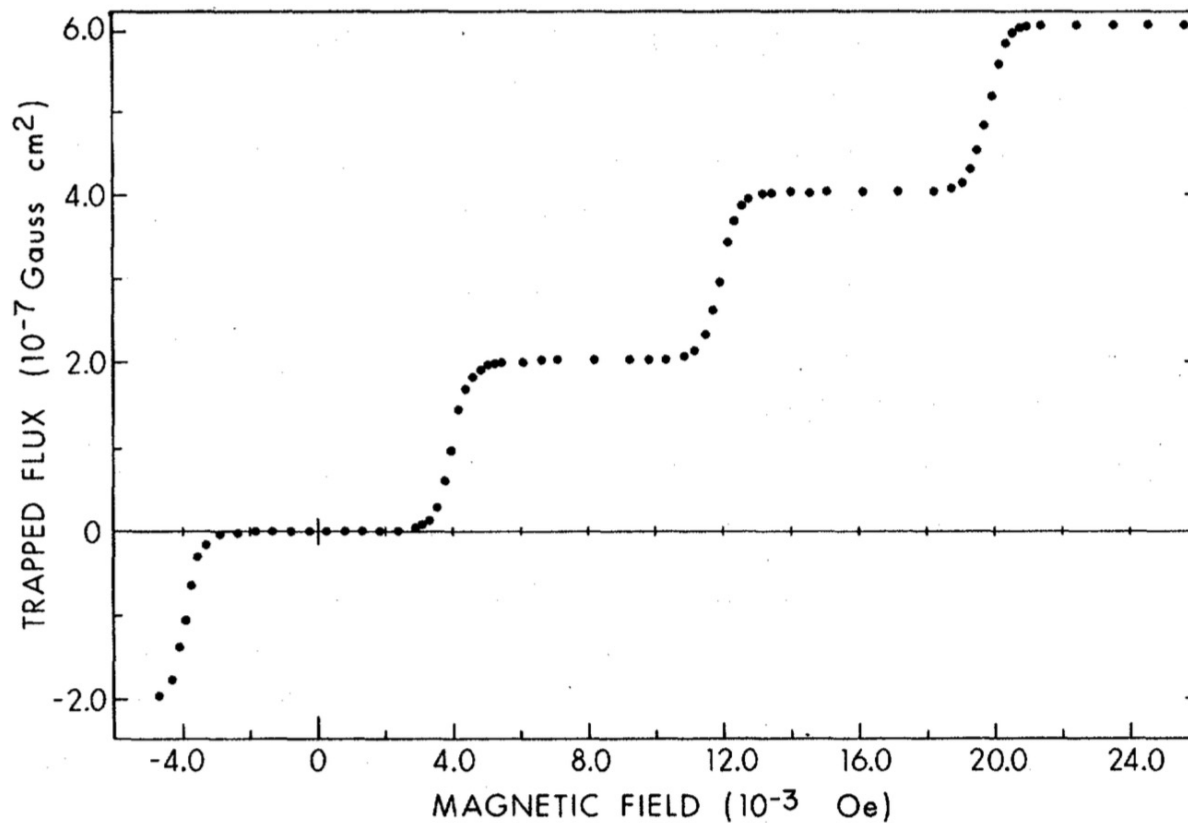
JULY 15, 1961

EXPERIMENTAL PROOF OF MAGNETIC FLUX QUANTIZATION IN A SUPERCONDUCTING RING*

R. Doll and M. Näbauer

Kommission für Tieftemperaturforschung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften,
Herrsching/Ammersee, Germany

(Received June 19, 1961)



Goodman PRB 1971

$$\begin{aligned}
 & \updownarrow 2.067833831 \times 10^{-15} \\
 & = \frac{h}{2e}
 \end{aligned}$$

$$\Phi = n \frac{h}{2e}$$

Le flux est quantifié.

Il apparaît donc une valeur universelle indépendante des détails microscopiques (nature du supra, type d'atomes, forme de l'anneau...). Elle est liée à la brisure spontanée de symétrie de gauge : un principe qui transcende les détails.

Cela démontre l'émergence (contre le réductionnisme).

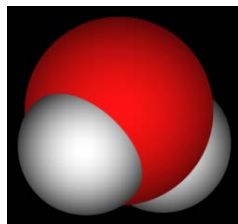
Ce qui est original dans une condensation quantique

*Une fonction d'onde
quantique macroscopique
et sa phase*



L'émergence

*Un phénomène complexe inattendu
apparaît à partir d'éléments
individuels simples et ne dépend pas
du détail de ces éléments*



développements récents en supraconductivité

Les nouveaux supraconducteurs

Z. Phys. B – Condensed Matter 64, 189–193 (1986)

Possible High T_c Superconductivity in the Ba–La–Cu–O System

J.G. Bednorz and K.A. Müller
IBM Zürich Research Laboratory, Rüschlikon, Switzerland

Received April 17, 1986

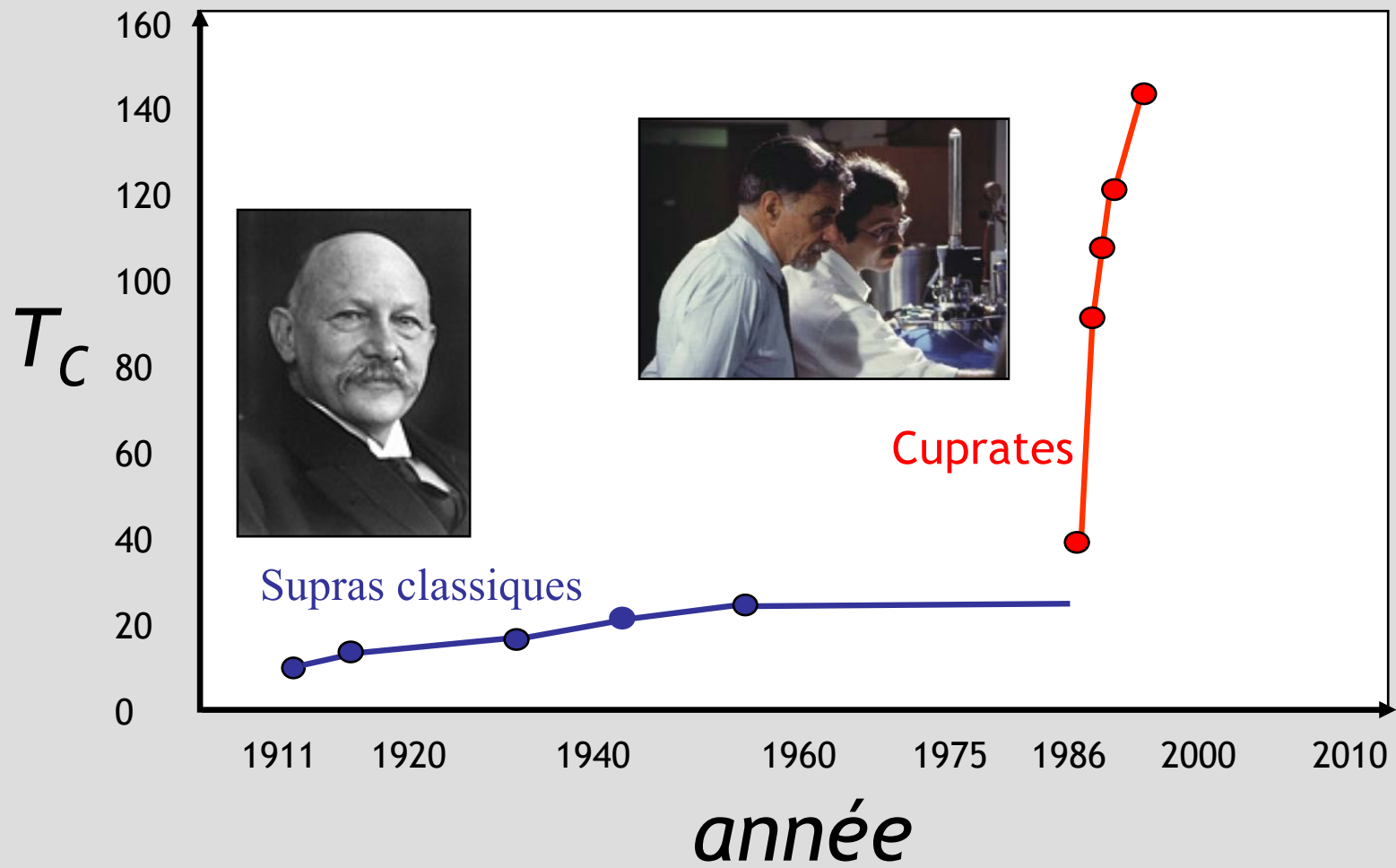
Metallic, oxygen-deficient compounds in the Ba–La–Cu–O system, with the composition $\text{Ba}_x\text{La}_{5-x}\text{Cu}_5\text{O}_{5(3-y)}$ have been prepared in polycrystalline form. Samples with $x=1$ and 0.75, $y>0$, annealed below 900 °C under reducing conditions, consist of three phases, one of them a perovskite-like mixed-valent copper compound. Upon cooling, the samples show a linear decrease in resistivity, then an approximately logarithmic increase, interpreted as a beginning of localization. Finally an abrupt decrease by up to three orders of magnitude occurs, reminiscent of the onset of percolative superconductivity. The highest onset temperature is observed in the 30 K range. It is markedly reduced by high current densities. Thus, it results partially from the percolative nature, but possibly also from 2D superconducting fluctuations of double perovskite layers of one of the phases present.

I. Introduction

“At the extreme forefront of research in superconductivity is the empirical search for new materials” [1]. Transition-metal alloy compounds of *A15* (Nb_3Sn) and *B1* (NbN) structure have so far shown the highest superconducting transition temperatures. Among many *A15* compounds, careful optimization of Nb–Ge thin films near the stoichiometric compo-

[6]. This large electron-phonon coupling allows a T_c of 0.7 K [7] with Cooper pairing. The occurrence of high electron-phonon coupling in another metallic oxide, also a perovskite, became evident with the discovery of superconductivity in the mixed-valent compound $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_3$ by Sleight et al., also a decade ago [8]. The highest T_c in homogeneous oxygen-deficient mixed crystals is 13 K with a comparatively low concentration of carriers $n=2.4 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ [9]. Flat







Supras classiques

- Resistance nulle et expulsion magnétique
- Supras sous 20K
- Supras sous 20 Tesla
- Electrons par paires
- Via les vibrations des atomes
- Formation d'un condensat avec un gap

Nouveaux supras



OUI

Supras jusqu'à 150K

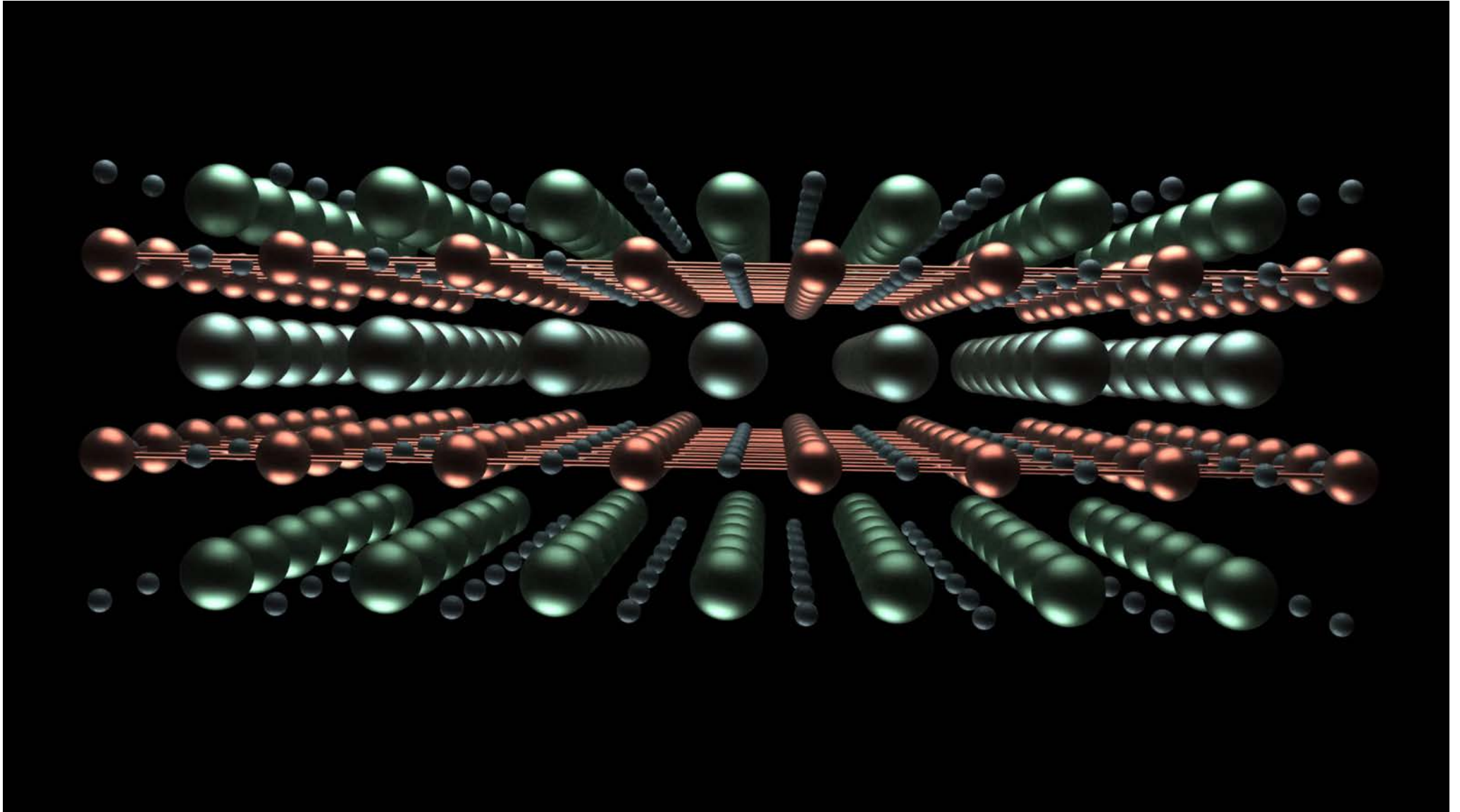
Supras jusqu'à ~100 Tesla

OUI mais plus petites

NON

OUI mais le gap est différent

D'où vient la difficulté ?



Nouveaux états magnétiques

Chaînes, échelles, frustrés...

Nouveaux états métalliques

pseudogap, Liquide de Fermi Marginal, Courants orbitaux, régimes critiques quantiques,...

Antiferro
magnétisme

Supraconductivité

Nouveaux états quantiques

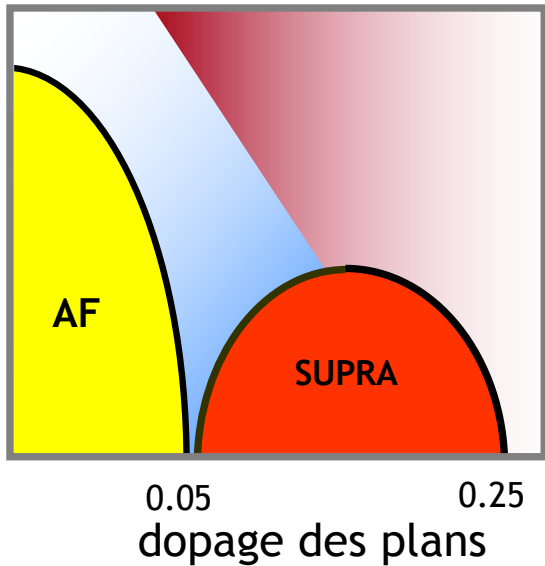
RVB, cordes, points critiques...

Nouveaux mécanismes pour la supraconductivité

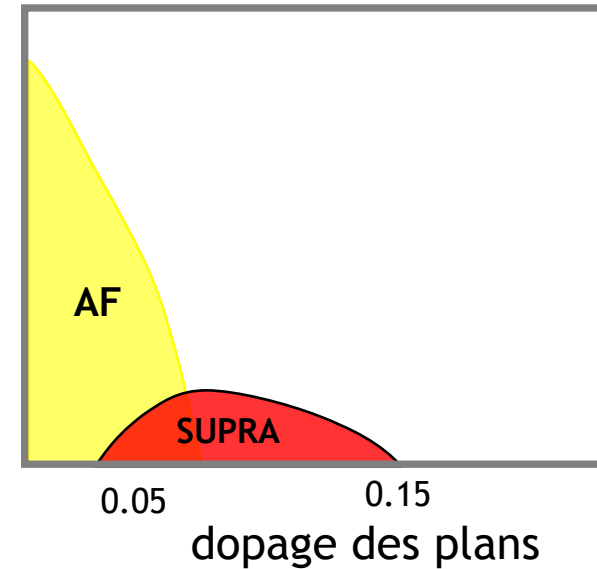
fluctuations de spin, paires préformées, BEC, emboitements...

Un comportement universel ?

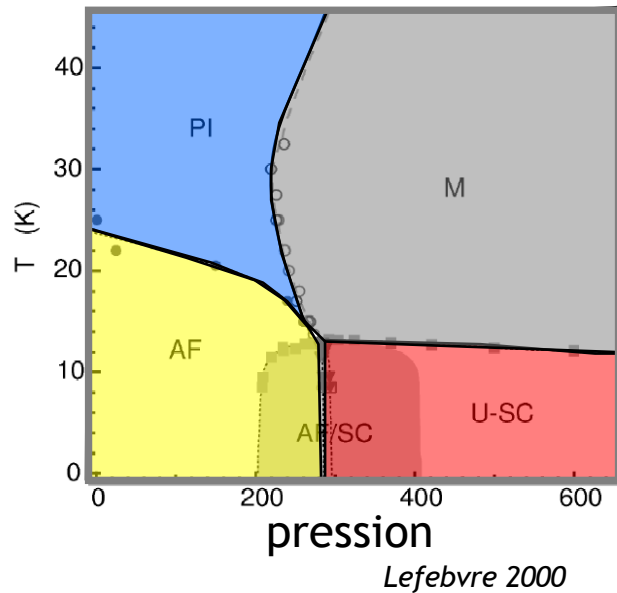
Cuprates



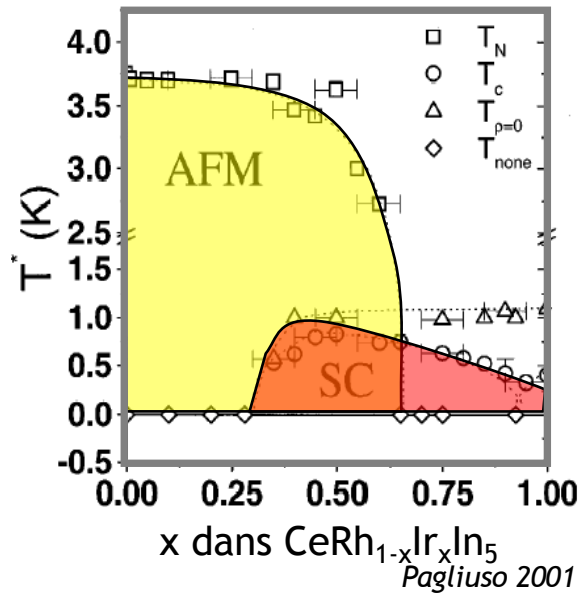
Pnictures



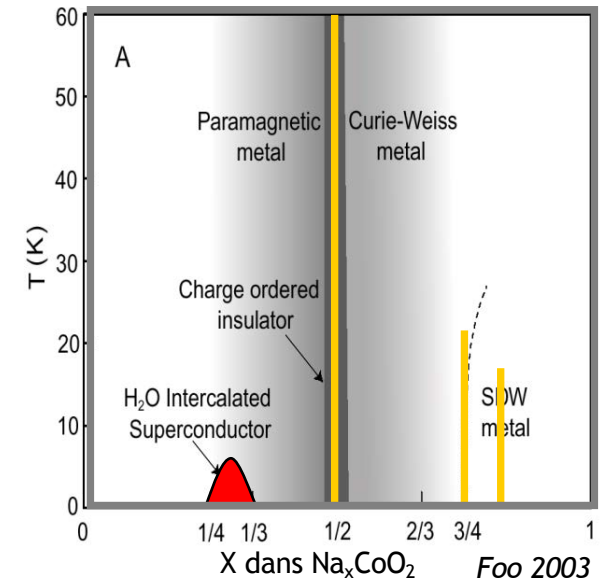
Supras Organiques



Fermions lourds

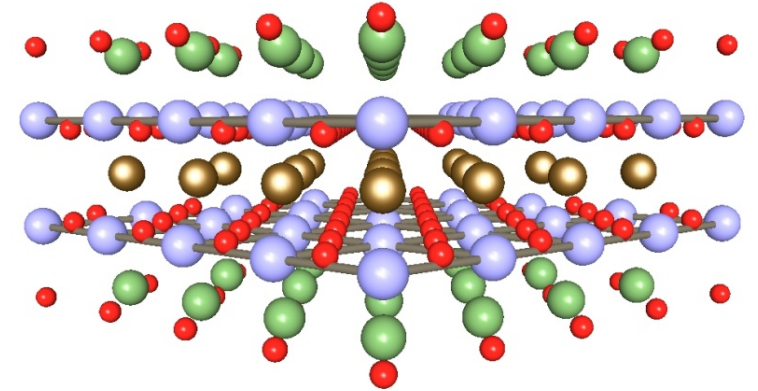


Cobaltites



Les supraconducteurs à haute température

- Un problème encore non résolu
- Des applications pour l'instant marginales



MAIS

- Un domaine très vivant interdisciplinaire
- Un laboratoire d'idée pour de nouveaux concepts
- Oblige à développer de nouveaux outils de mesure
- Un des phénomènes physiques les plus spectaculaires pour séduire le grand public

développements très récents

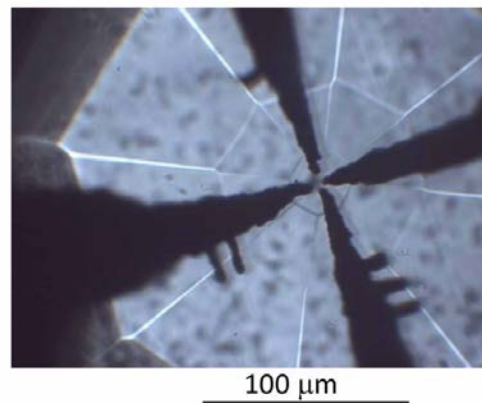
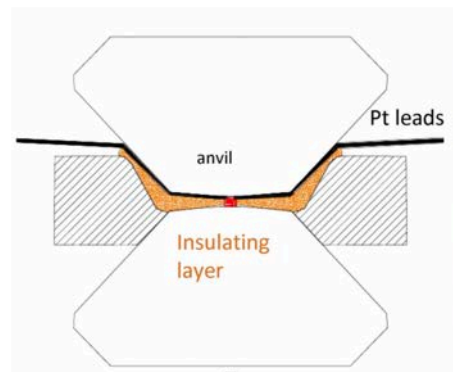


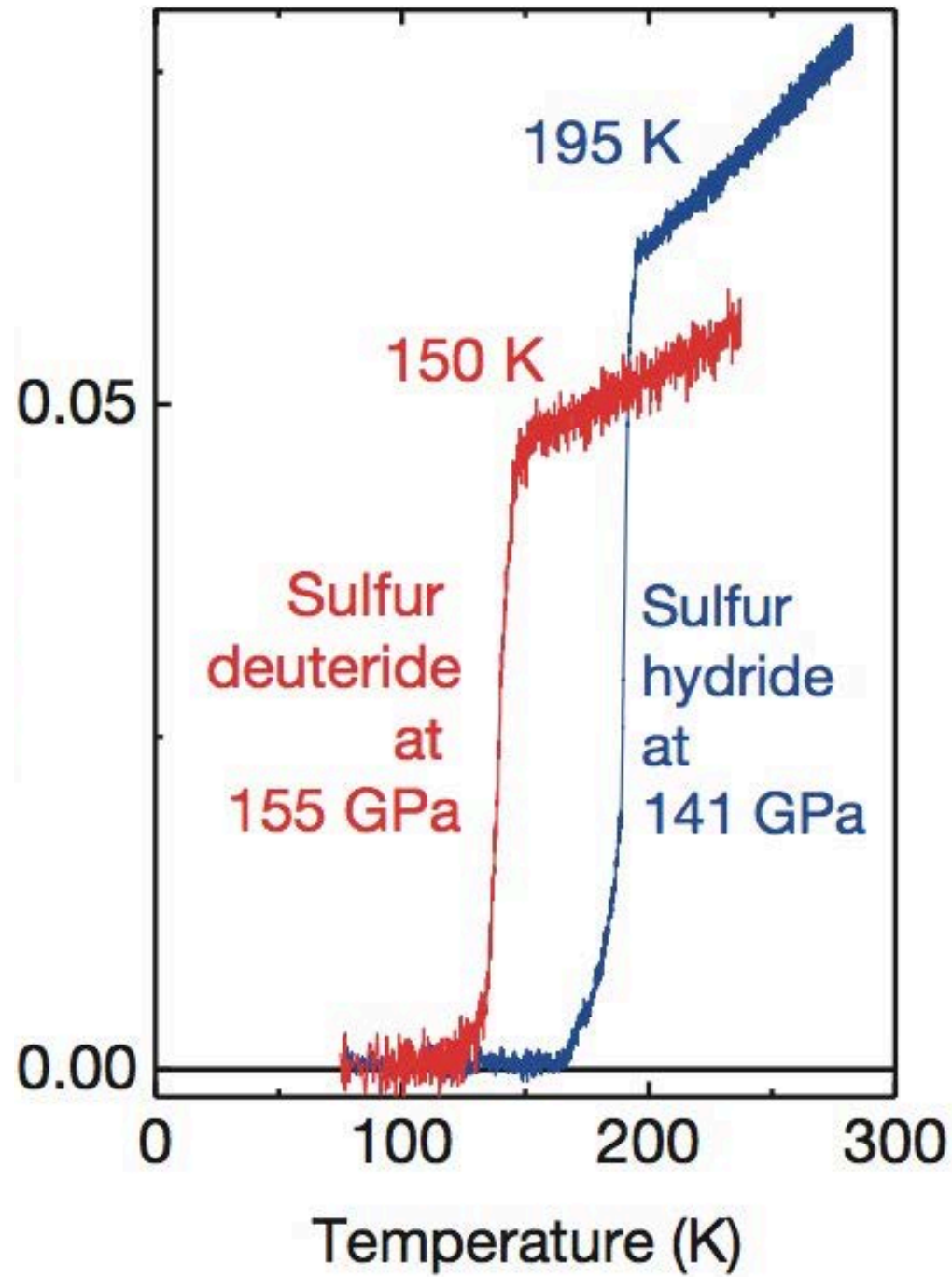
LETTER

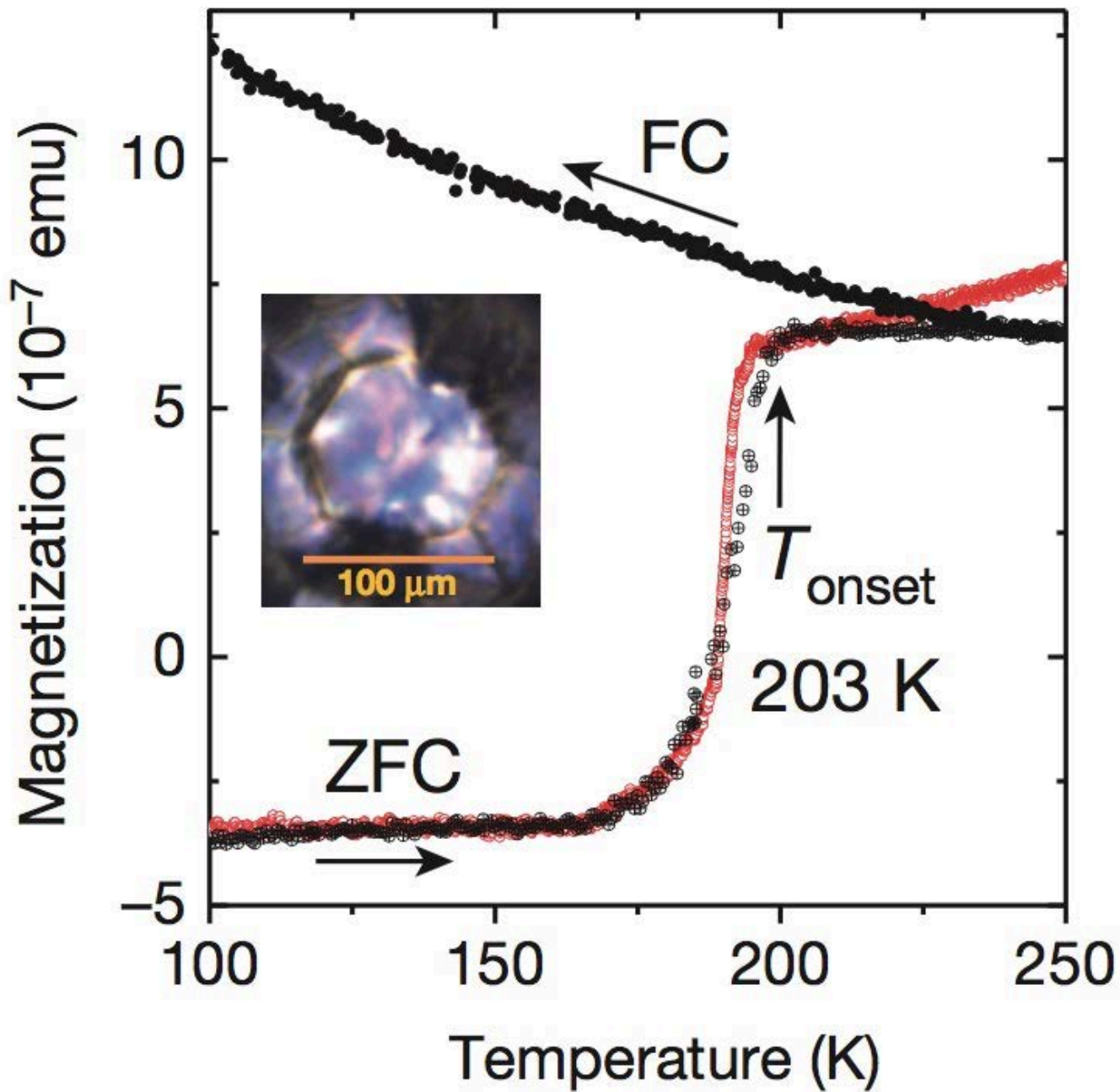
doi:10.1038/nature14964

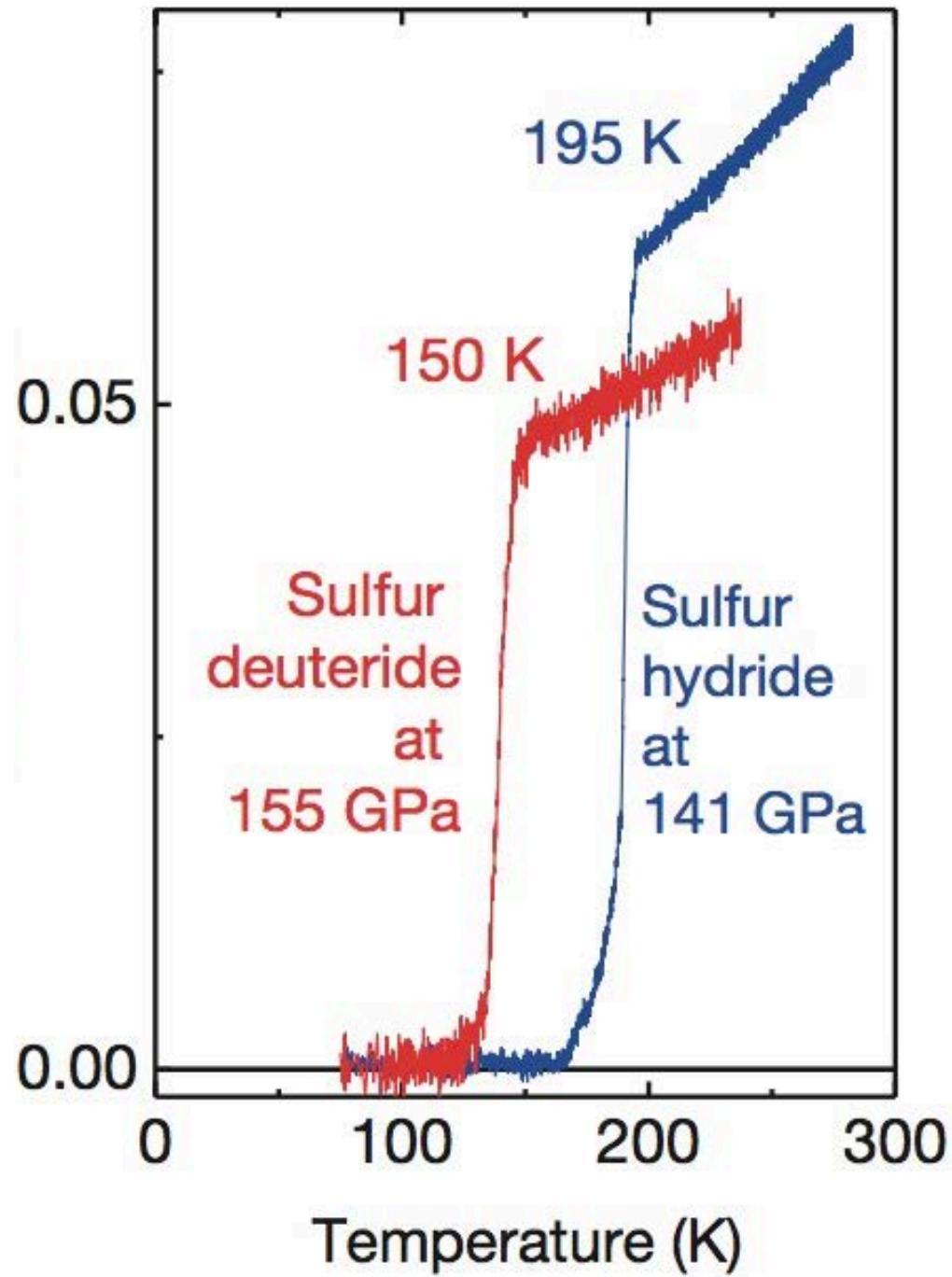
Conventional superconductivity at 203 kelvin at high pressures in the sulfur hydride system

A. P. Drozdov^{1*}, M. I. Erements^{1*}, I. A. Troyan¹, V. Ksenofontov² & S. I. Shylin²











PHYSICAL REVIEW LETTERS

[Highlights](#) [Recent](#) [Accepted](#) [Collections](#) [Authors](#) [Referees](#) [Search](#) [Press](#) [About](#) 

Accepted Paper

Evidence for superconductivity above 260 K in lanthanum superhydride at megabar pressures

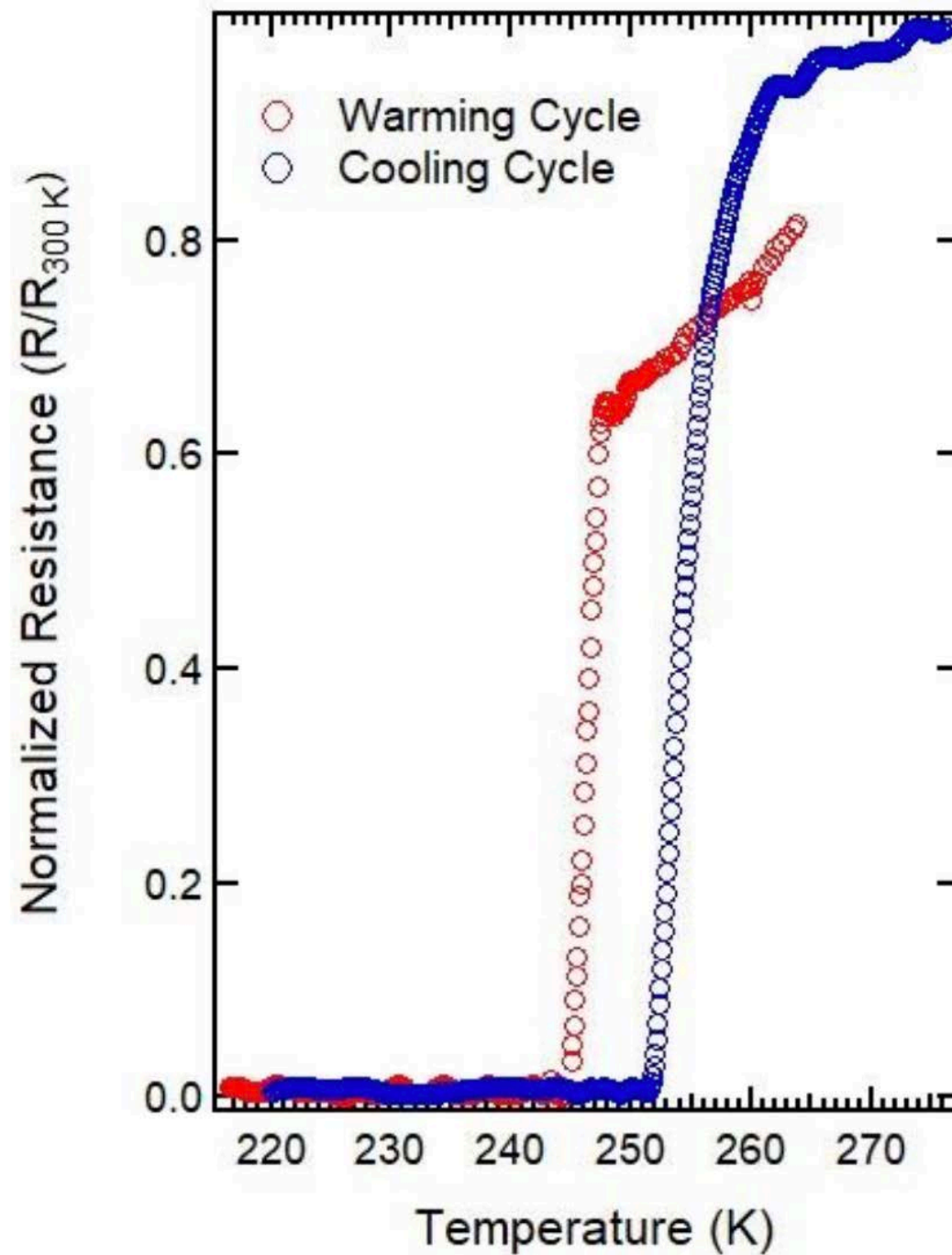
Phys. Rev. Lett.

Maddury Somayazulu, Muhtar Ahart, Ajay K. Mishra, Zachary M. Geballe, Maria Baldini, Yue Meng, Viktor V. Struzhkin, and Russell J. Hemley

Accepted 14 December 2018

LaH_{10+x}

$P=188 \text{ GPa}$



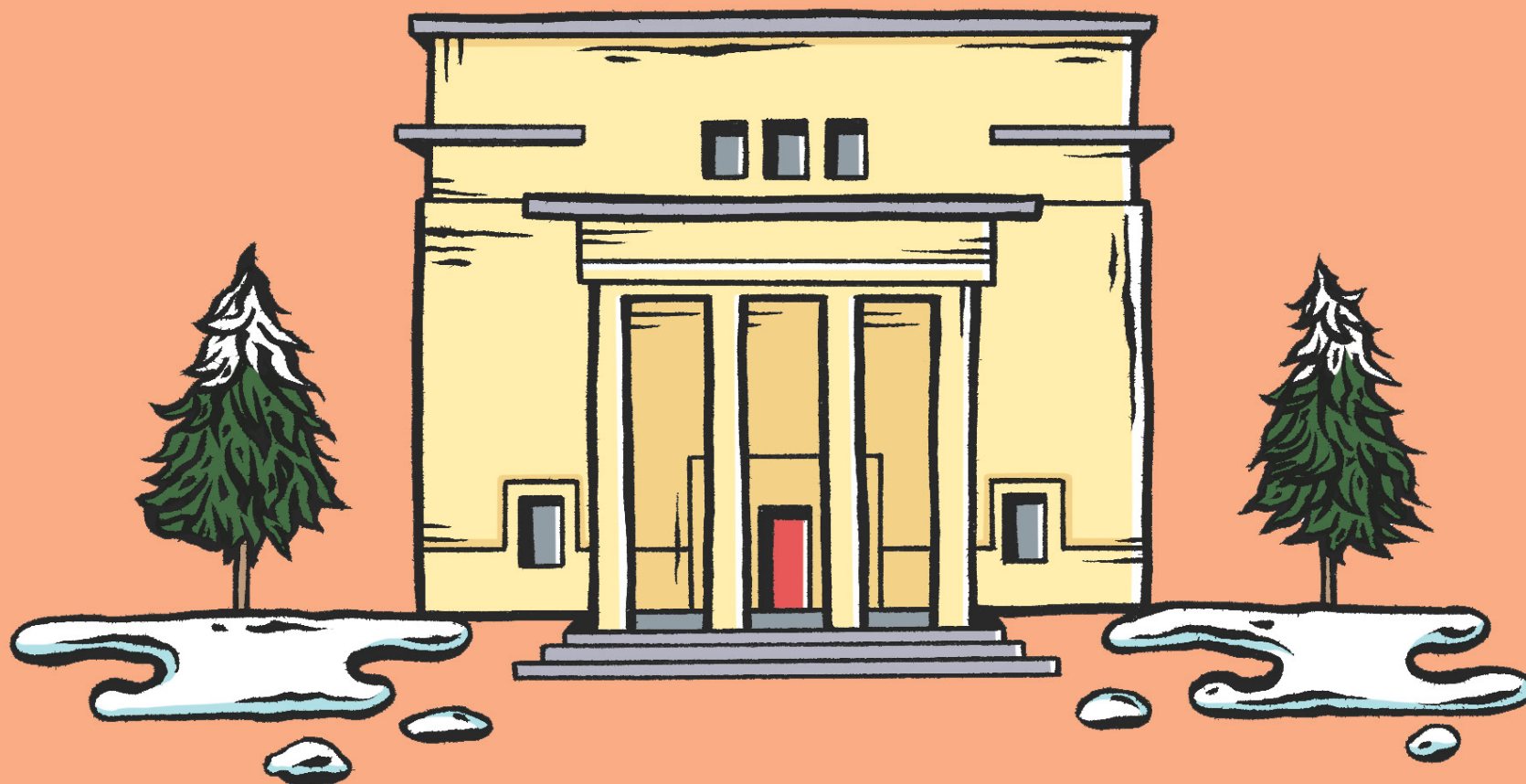
peut-on faire un condensat
dans un liquide ?

LA SUPRAFLUIDITÉ

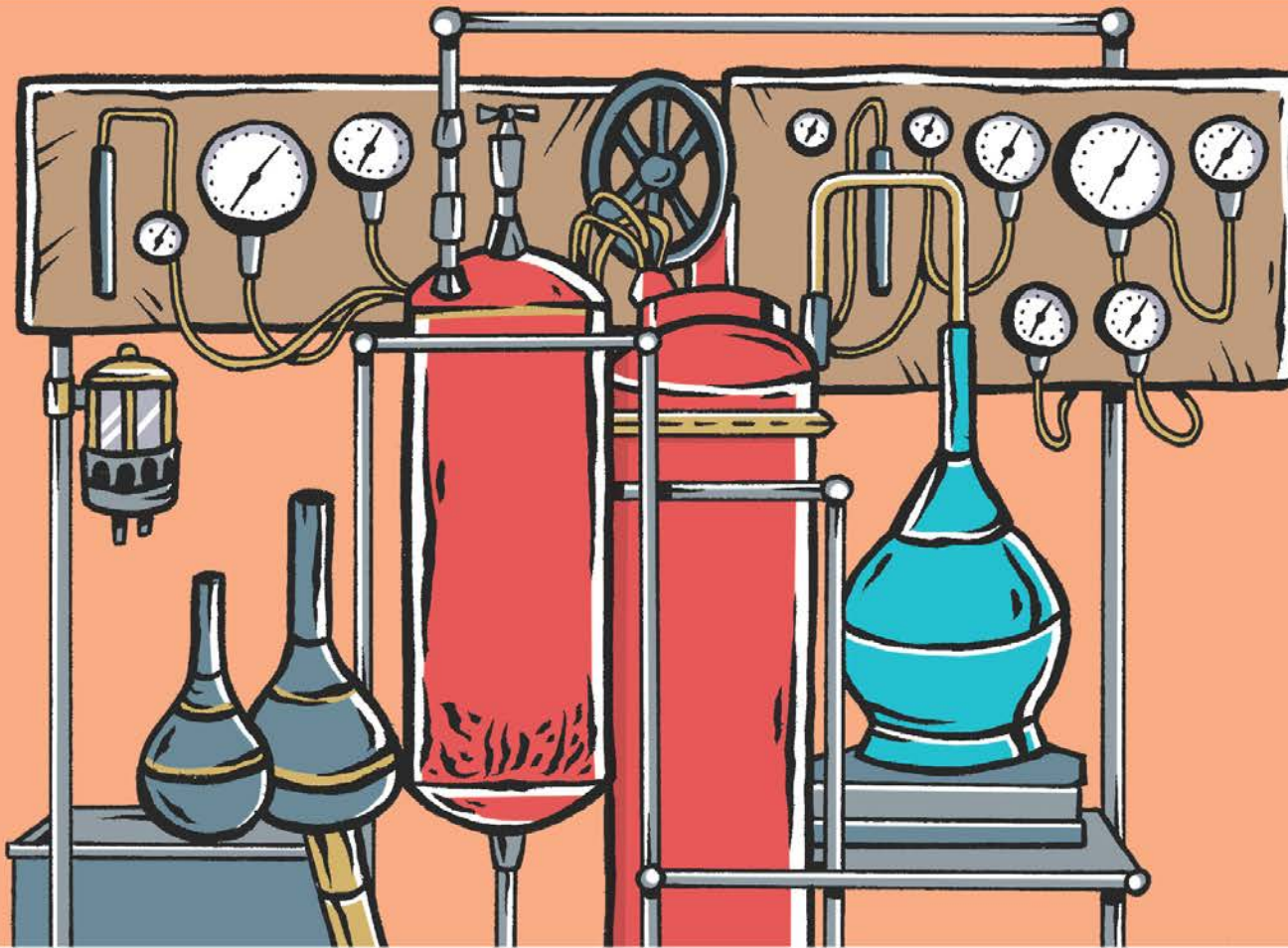
— 1937 —



P. KAPITSA



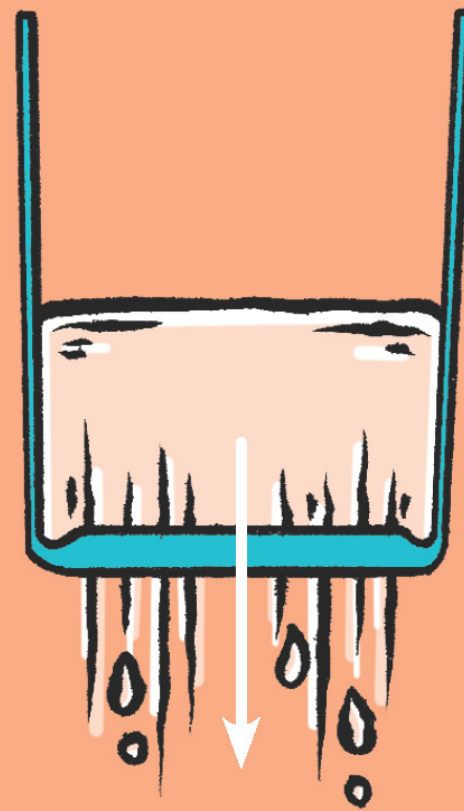
INSTITUT DES PROBLÈMES PHYSIQUES,
MOSCOU, RUSSIE



LE LABO

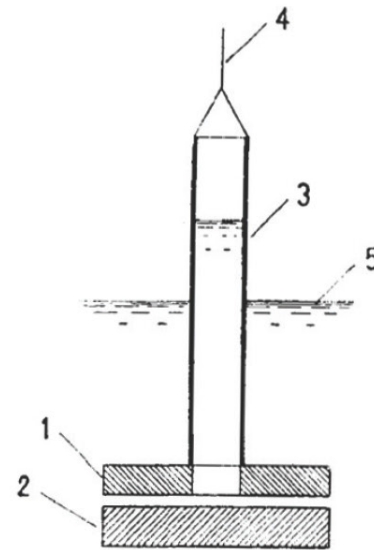
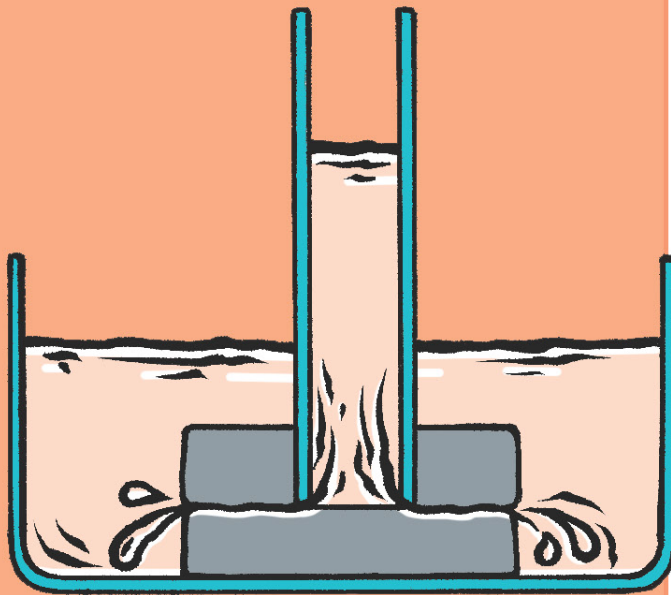
L'hélium liquide





LA QUESTION

Que devient un liquide très près du zéro absolu s'il ne gèle pas ?



The very small kinematic viscosity of liquid helium II thus makes it difficult to measure the viscosity. In an attempt to get laminar motion the following method (shown diagrammatically in the accompanying illustration) was devised. The viscosity was measured by the pressure drop when the liquid flows through the gap between the disks 1 and 2; these disks were of glass

and were optically flat, the gap between them being adjustable by mica distance pieces. The upper disk, 1, was 3 cm. in diameter with a central hole of 1.5 cm. diameter, over which a glass tube (3) was fixed. Lowering and raising this plunger in the liquid helium by means of the thread (4), the level of the liquid column in the

LE RÉSULTAT

L'hélium est placé dans une colonne au dessus de deux plaques près du zéro absolu. Il arrive à s'écouler entre les plaques même quand elles se touchent ! Kapitza appelle cela de la suprafluidité.

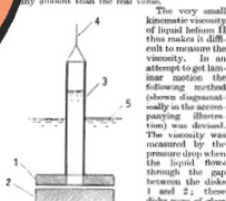
Letters to the Editor

The Editor does not hold himself responsible for opinions expressed by his correspondents. He cannot undertake to return, or to correspond with the writers of, rejected manuscripts intended for this or any other part of NATURE. No notice is taken of anonymous communications.

NOTES ON POINTS IN SOME OF THIS WEEK'S LETTERS APPEAR ON P. 83. CORRESPONDENTS ARE INVITED TO ATTACH SIMILAR SUMMARIES TO THEIR COMMUNICATIONS.

Viscosity of Liquid Helium below the λ-Point The abnormally high heat conductivity of helium II below the λ-point, as first observed by Keesom, suggested to me the possibility of an explanation in terms of convective currents. This explanation would require helium II to have an abnormally low viscosity; at present, the only viscosity measurements on liquid helium have been made in Toronto, and showed that there is a drop in viscosity below the λ-point by a factor of 2 compared with liquid helium at normal pressure, and by a factor of 8 compared with the value just above the λ-point. In some experiments, however, no check was made to see that the motion was laminar, and not turbulent.

An important fact that liquid helium has a viscosity η of about 0.18, not very different from that of an ordinary fluid, while its viscosity η is small compared to that of a gas, makes its abnormally low viscosity η a very extraordinary small quantity when the liquid is in motion in an open vessel; the Reynolds number may be very high, while in order to keep the motion laminar, especially in the method used in Toronto, the damping of an oscillating cylinder, the disk number must be kept very low. This experiment was not fulfilled in the Toronto experiment and the deduced value of viscosity thus refers to turbulent motion, and consequently may be higher than the real value.



The very small kinematic viscosity ν of liquid helium II thus makes it difficult to measure the viscosity. In an attempt to obtain a special state which might be called a 'superfluid', the following method (shown diagrammatically in the accompanying illustration) was devised. The viscosity was measured by the pressure drop when the liquid flows through the gap between the disks 1 and 2; these disks were of glass and were optically flat, the gap between them being adjustable by mica distance pieces. The upper disk, 1, was 3 cm. in diameter with a central hole of 1.5 cm. diameter, over which a glass tube (3) was fixed. Lowering and raising the plunger in the liquid helium by means of the thread (4), the level of the liquid column in the

tube 3 could be set above or below the level (5) of the liquid in the surrounding Dewar flask. The amount of flow and the pressure were deduced from the difference of the two levels, which was measured by cathetometer.

The results of the measurements were rather striking. When there were no distance pieces between the disks, and the platen 1 and 2 were brought into contact (by observation of optical fringes, their separation was estimated to be about half a micron), the flow of liquid above the λ-point could be only just detected over several minutes, while below the λ-point the liquid flowed quite freely, and the level in the tube 3 settled down in a few seconds. From the measurements we can conclude that the viscosity of helium II is at least 1,500 times smaller than that of helium I at normal pressure. The experiments also showed that in the case of liquid helium II, the pressure drop across the gap was proportional to the square of the velocity of flow, which means that the flow must have been turbulent. It, however, we calculate the viscosity, assuming the flow to have been laminar, we obtain a value of the order 10⁻³ c.g.s. units, which is evidently still only an upper limit to the true value. Using this estimate, the Reynolds number, even with such a small gap, comes out higher than 20,000, a value for which turbulence might indeed be expected.

We are making experiments in the hope of still further reducing the upper limit to the viscosity of liquid helium II, but the present upper limit (nearly 10³ c.g.s. units) is already very striking, since it is more than 10³ times smaller than that of hydrogen gas (previously thought to be the fluid of least viscosity). The present limit is perhaps sufficient to suggest, by analogy with superconductors, that the helium below the λ-point enters a special state which might be called a 'superfluid'. As we have already mentioned, an abnormally low viscosity such as indicated by our experiments might indeed provide an explanation for the high thermal conductivity, and for the other anomalous properties observed by Allen, Poiné, and Ubbink. It is evidently possible that the turbulent motion, inevitably set up in the technical manipulations required in working with the liquid helium II, might on account of the great fluidity, not be too slow, even in the small capillary tubes in which the thermal conductivity was measured; such turbulence would transport heat extremely efficiently by convection. P. KAPITSA.

Institute for Physical Problems, Academy of Sciences, Moscow.

Nature, 1938, 140, 202 (1937); Phil. Mag., Moscow and U.S.S.R., Proc. Div. No. 3, 133, 132 (1937).

Flow of Liquid Helium II

A survey of the various properties of liquid helium II has prompted us to investigate its viscosity more carefully. One of us had previously deduced an upper limit of 10⁻³ c.g.s. units for the viscosity of helium II by measuring the damping of an oscillating cylinder. We had reached the same conclusion as Kapitza in the letter above; namely, that due to the high Reynolds number involved, the measurements probably represent non-laminar flow.

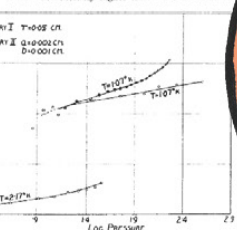
The present data were obtained from observation on the flow of liquid helium II through long capillaries. Two capillaries were used: the first had a circular bore of radius 0.05 cm. and length 130 cm., and drained a reservoir of 5.0 cm. diameter; the second was a three-rod capillary 52.5 cm. long and of elliptical cross-section with semi-axes 0.041 cm. and 0.062 cm., which was attached to a reservoir of 0.4 cm. diameter. The measurements were made by raising or lowering the reservoir with attached capillary so that the level of liquid helium in the reservoir was a centimetre or so above or below that of the surrounding liquid helium bath. The rate of change of level in the reservoir was then determined from the radiometer eye-piece scale and a stopwatch; measurements were made until the levels became coincident. The data showing velocities of flow through the capillary and the corresponding pressure differences at the ends of the capillary are given in the accompanying table and plotted on a logarithmic scale in the diagram.

The relation ηv of an upper limit to the viscosity η of 10⁻³ c.g.s. units. The observed type of flow, however, in which the velocity becomes almost independent of pressure, most certainly cannot be treated as laminar or even as ordinary turbulent flow. Consequently any known formula cannot, from our data, give a value of the 'viscosity' which would have much meaning. It may be possible that the liquid helium II slips over the surface of the tube. In this case any flow method would be incapable of showing the 'viscous drag' of the liquid.

Table with 4 columns: Capillary I (T = 1.9° K), Capillary II (T = 2.1° K), Velocity (cm./sec.), Pressure (dynes/cm²).

The following facts are evident: (1) The velocity of flow, v, changes only slightly for large changes in pressure head, p. For the smaller capillary, the relation is approximately ηv, but at the lowest velocities an even higher power seems indicated. (2) The velocity of flow, for given pressure head and temperature, changes only slightly with a change of cross-section area of the order of 10%. (3) The velocity of flow, for given pressure head and given cross-section, changes by about a factor of 10 on a change of temperature from 1.07° K. to 2.17° K. (4) With the larger capillary and slightly higher velocities of flow, the pressure-velocity relation is approximately ηv, but with the power of η decreasing as the velocity is increased.

If, for the purpose of calculating a possible upper limit to the viscosity, we assume the formula for laminar flow, that is, ηv, we obtain the value η = 4.5 × 10⁻³ c.g.s. units. This agrees with the upper limit given by Kapitza who, using velocities of flow considerably higher than ours, has obtained



the relation ηv of an upper limit to the viscosity η of 10⁻³ c.g.s. units. The observed type of flow, however, in which the velocity becomes almost independent of pressure, most certainly cannot be treated as laminar or even as ordinary turbulent flow. Consequently any known formula cannot, from our data, give a value of the 'viscosity' which would have much meaning. It may be possible that the liquid helium II slips over the surface of the tube. In this case any flow method would be incapable of showing the 'viscous drag' of the liquid.

With regard to the suggestion that the high thermal conductivity of helium II might be explained by turbulence, we have calculated that the flow velocity necessary to transport all the heat up and over the observed temperature gradient in the Allen, Poiné, and Ubbink experiments is about 10³ cm./sec. On the other hand, the greatest flow velocity produced by manipulation and by the pressure difference alone the thermal conduction capillary will not be likely to be greater than 50 cm./sec. It seems, therefore, that undamped turbulent motion cannot account for an appreciable part of the high thermal conductivity which has been observed for helium II.

J. F. ALLEN, A. D. MISENER, Royal Society Mond Laboratory, Cambridge. Nature, 1938, 140, 202 (1937); Allen, Poiné and Ubbink, NATURE, 140, 42 (1937). Some Experiments at Radio Frequencies on Supraconductors. Measurements were made on an extruded iron wire carrying an alternating current of a frequency of about 200 kilocycles per second superposed upon a direct current. The resulting magnetic field at the surface of the wire was thus caused to pulsate cyclically.



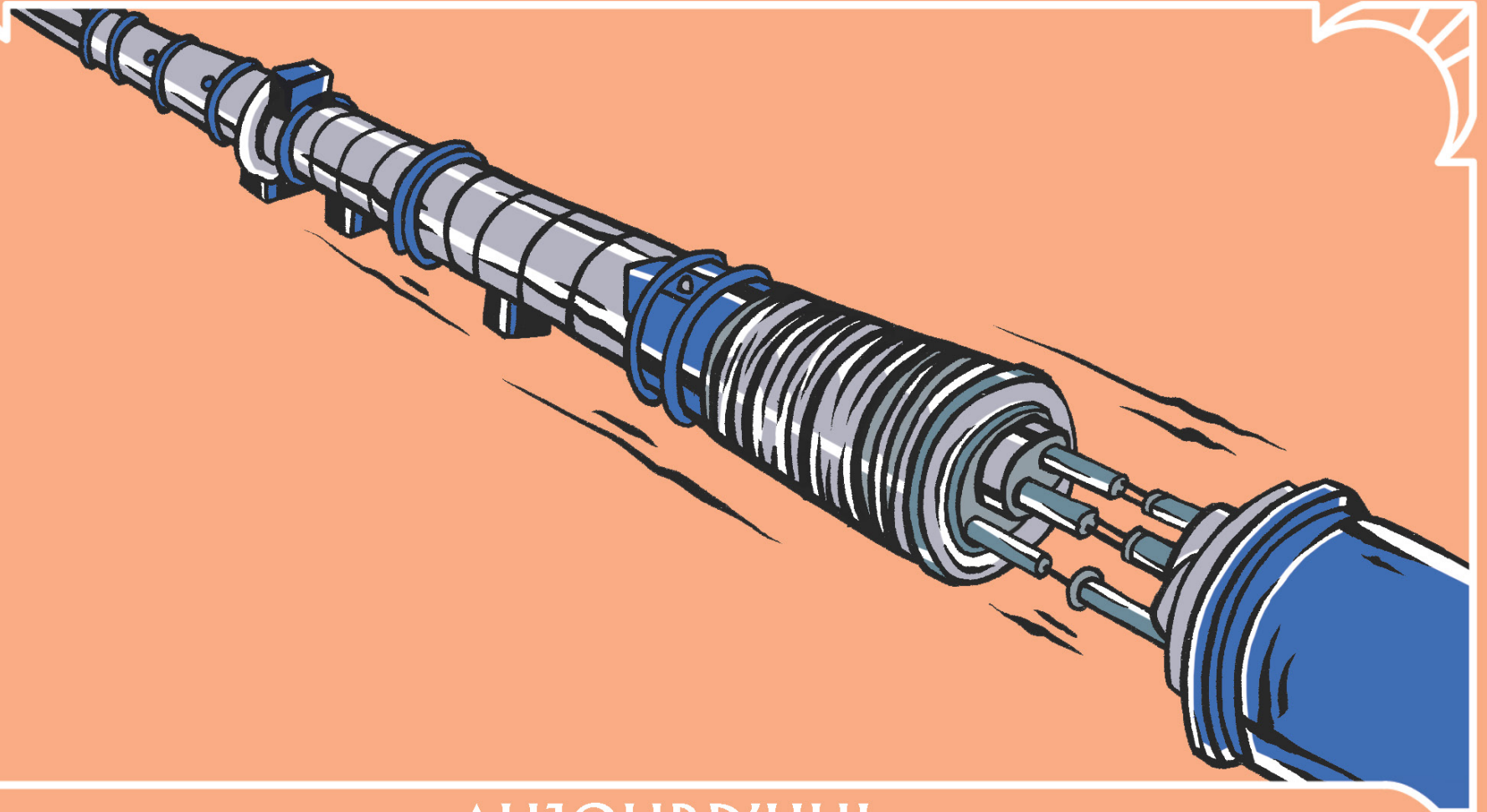
LETTERS ARTICLES

Viscosity of Liquid Helium below the λ-Point, P. Kapitza, Nature 74, 141 (1938)
Flow of liquid helium II, J.F. Allen, A.D. Misener, Nature 75, 141 (1938)



P. KAPITSA, PRIX NOBEL, 1978

Pour ses inventions et découvertes fondamentales dans le domaine de la physique à basse température.

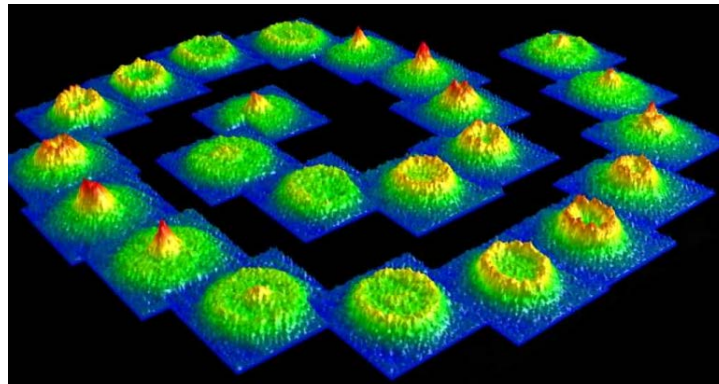


AUJOURD'HUI

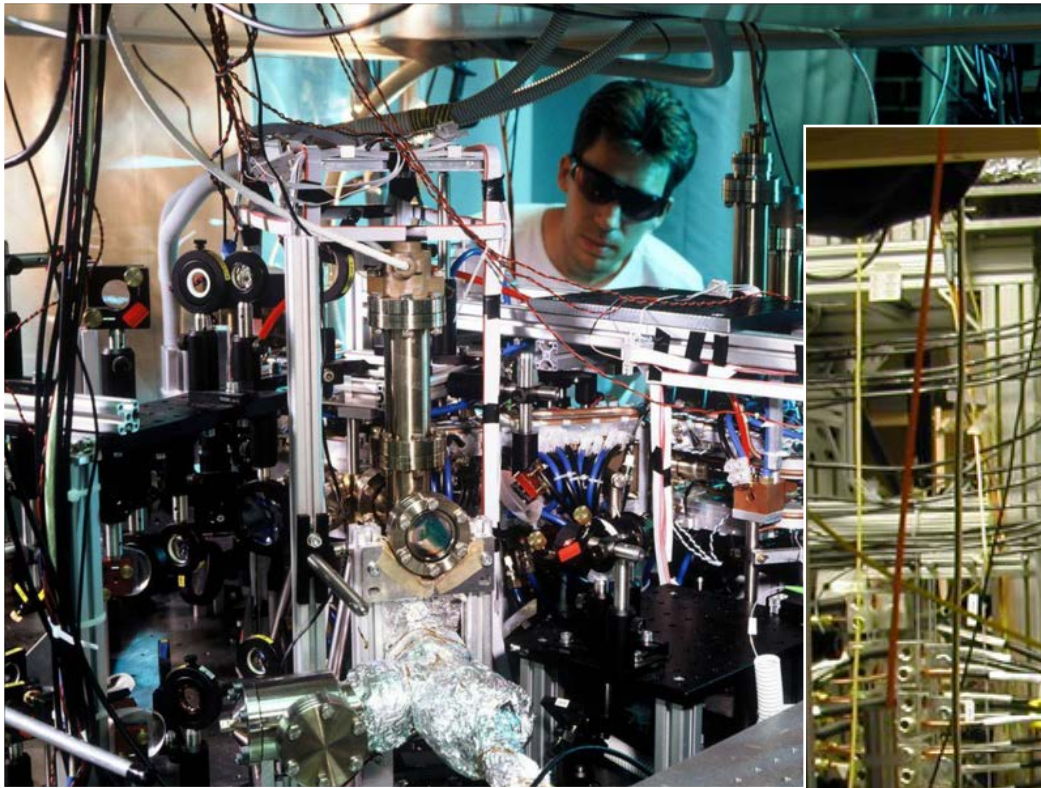
L'hélium suprafluide permet de refroidir les accélérateurs de particule comme le LHC.
Il est aussi l'outil indispensable pour faire des expériences de physique très près du zéro absolu.

peut-on faire un condensat
dans un gaz ?

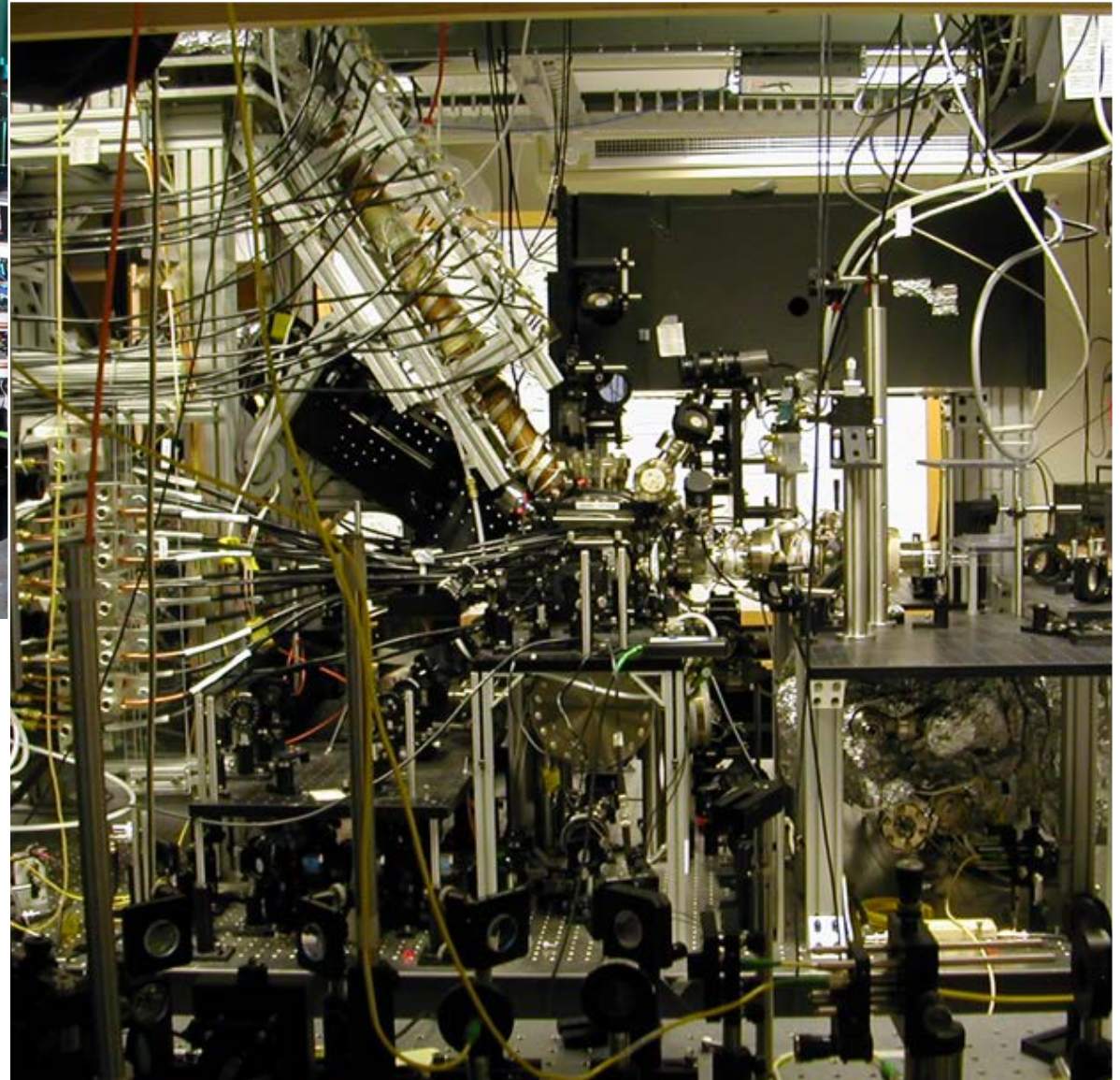
les condensats de Bose Einstein



Les condensats dans des gaz



Les expériences



Refroidir un gaz



The Nobel Prize in Physics 1997

"for development of methods to cool and trap atoms with laser light"



Steven Chu



Claude Cohen-Tannoudji



William D. Phillips

Refroidissement laser Doppler

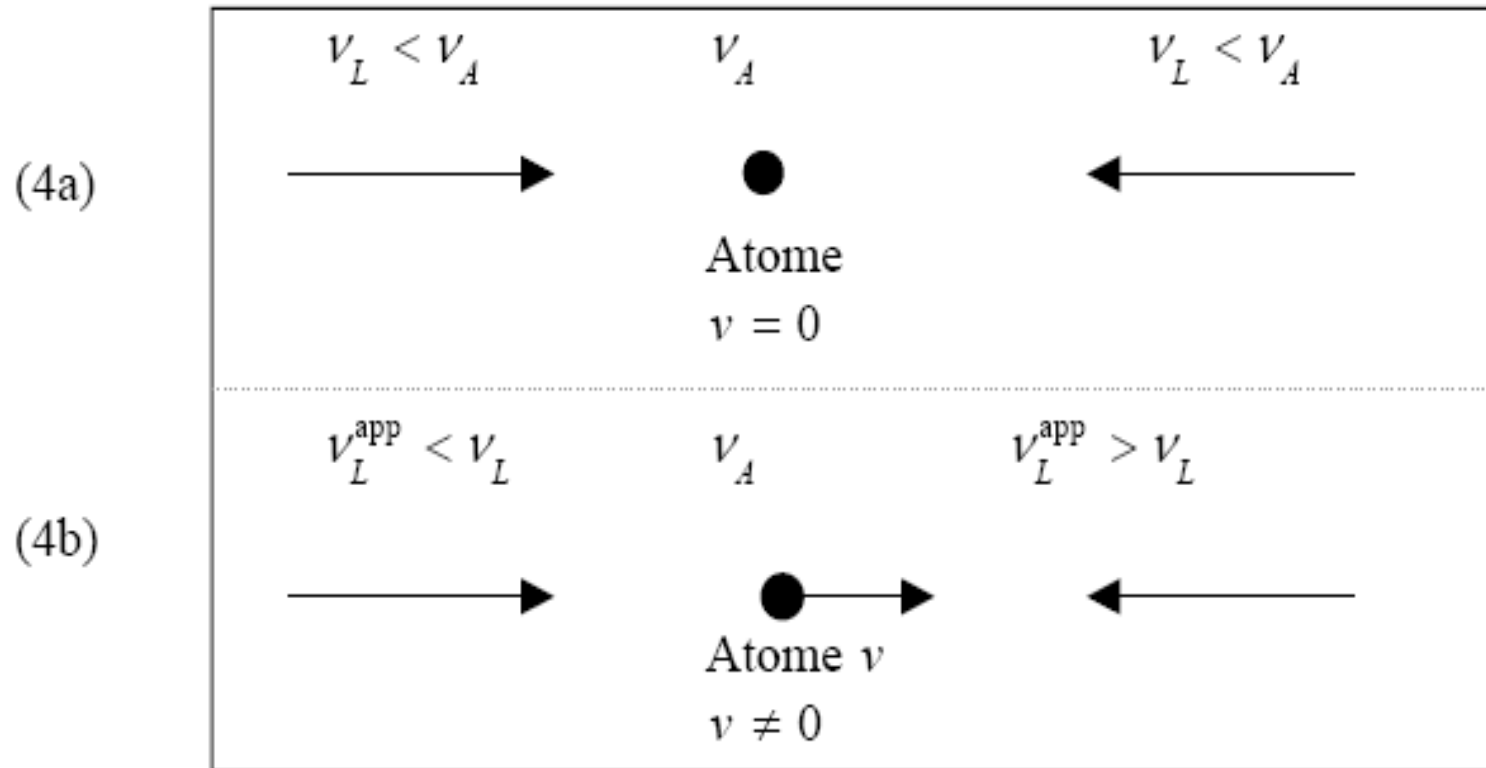


Figure 4 : Principe du mécanisme de refroidissement laser par effet Doppler. Pour un atome au repos (figure 4a) les deux forces de pression de radiation s'équilibrent exactement. Pour un atome en mouvement (figure 4b), la fréquence apparente de l'onde se propageant en sens opposé augmente et se rapproche de résonance. Elle exerce une force de pression de radiation plus grande que celle de l'onde qui se propage dans le même sens que l'atome et dont la fréquence apparente, diminuée par effet Doppler, s'éloigne de résonance.

L'équipe de Ketterle (MIT)

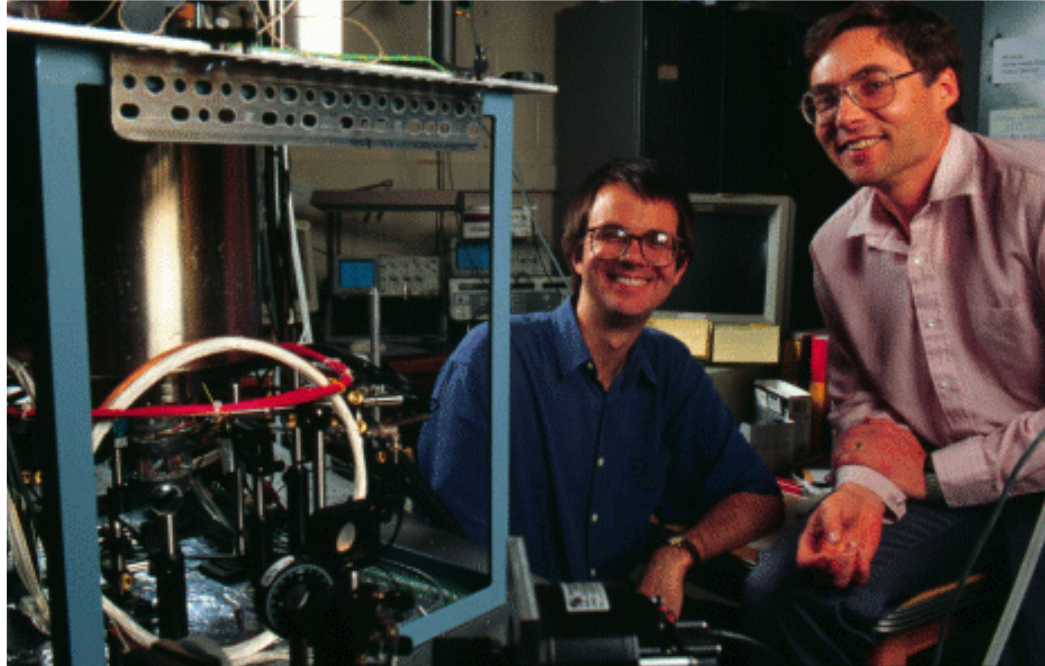


Figure 22. The author with his team in November 2001. Front row, from left to right: Z. Hadzibabic, K. Xu, S. Gupta, E. Tsikata, Y.-I. Shin. Middle row: A.P. Chikkatur, J.-K. Chin, D.E. Pritchard, W. K., G. Campbell, A.E. Leanhardt, M. Boyd. Back row: J.R. Abo-Shaeer, D. Schneble, J.M. Vogels, K. Dieckmann, C.A. Stan, Y. Torii, E. Streed.



The Nobel Prize in Physics 2001

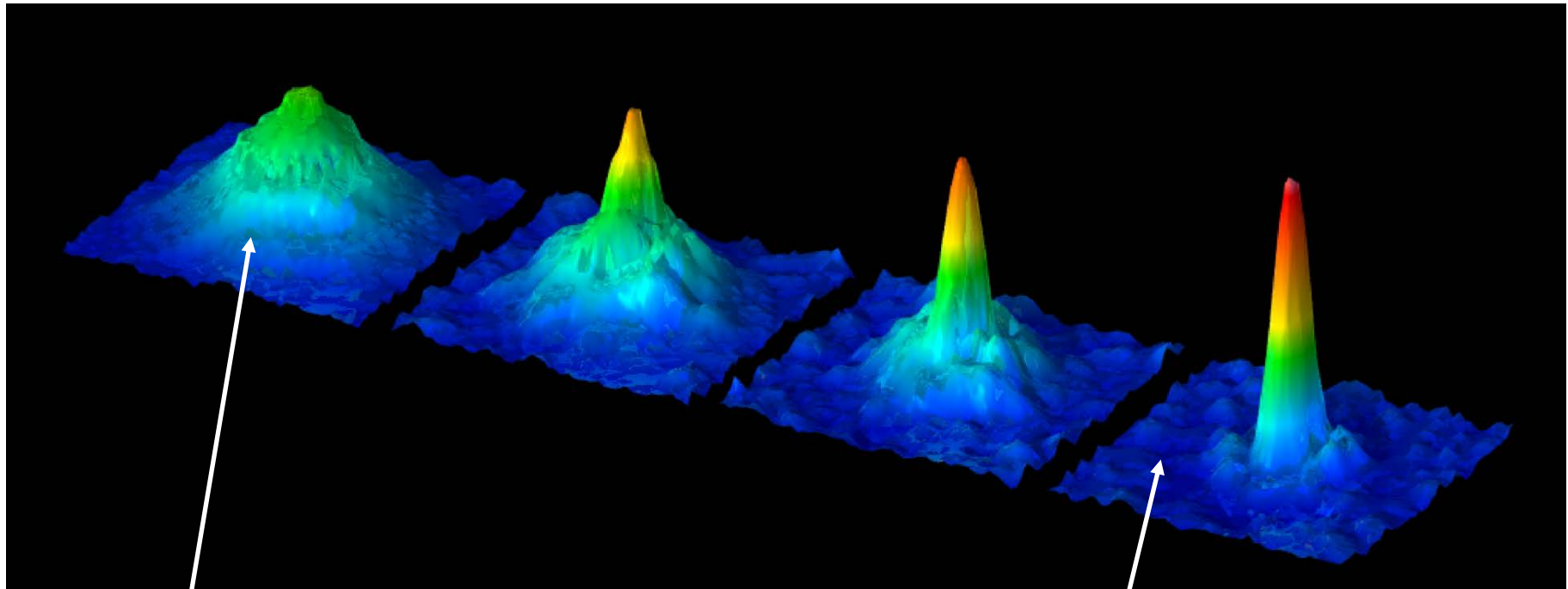
"for the achievement of Bose-Einstein condensation in dilute gases of alkali atoms, and for early fundamental studies of the properties of the condensates"



Condensation de Bose Einstein

Les condensats dans des gaz

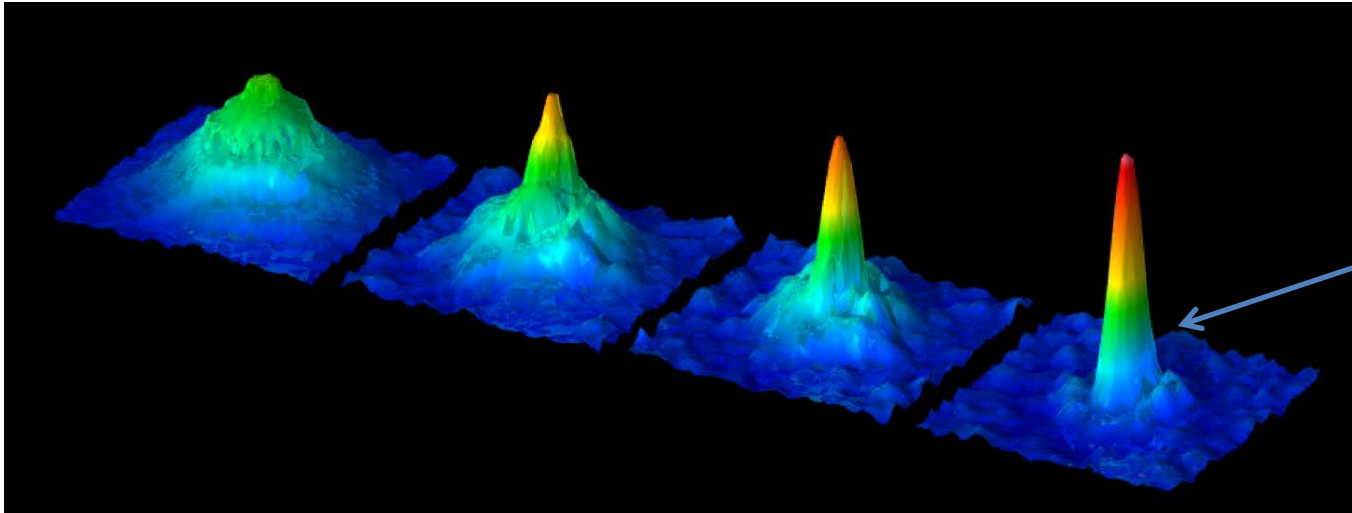
1995, dans le Rubidium, à $T=1$ à 2 mK, mesure de la densité des atomes en envoyant une petite impulsion lumineuse et en mesurant comment elle est absorbée par le gaz.



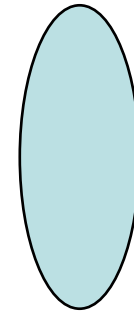
distribution
Maxwell Boltzmann

condensation : les atomes ont une vitesse proche de zéro en
nombre très élevé et forment une fonction d'onde unique

La preuve de la cohérence de phase



anisotropie



on utilise un piège laser anisotrope.
On observe après relachement du piège que
l'onde se répand de façon anisotrope
car $\Delta p \sim h/\Delta x$ donc distribution
anisotrope des vitesses en inverse de Δx
Si on piège spatialement dans une direction,
le condensat aura des vitesses plus fortes dans
cette direction et se répand donc plus vite.

Les condensats pour ralentir la lumière

Light speed reduction to 17 metres per second in an ultracold atomic gas

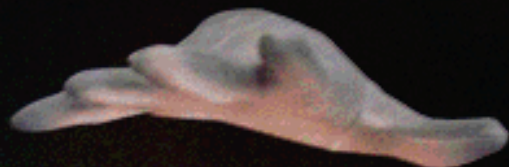
Lene Vestergaard Hau^{*†}, S. E. Harris[‡], Zachary Dutton^{*†}
& Cyrus H. Behroozi^{*§}



8 February 2007 www.nature.com/nature | \$19

THE INTERNATIONAL WEEKLY JOURNAL OF SCIENCE

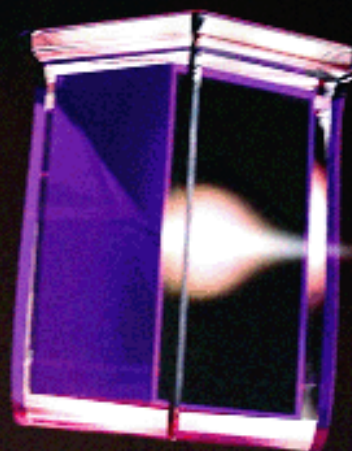
nature



CLIMATE CHANGE 2007
The IPCC report dissected

TUMOUR SUPPRESSION
Throwing the p53 switch

PLANT EVOLUTION
The roots of photosynthesis



A TRICK OF THE LIGHT

Sending messages with matter

NATUREJOBS
Remember tenure?

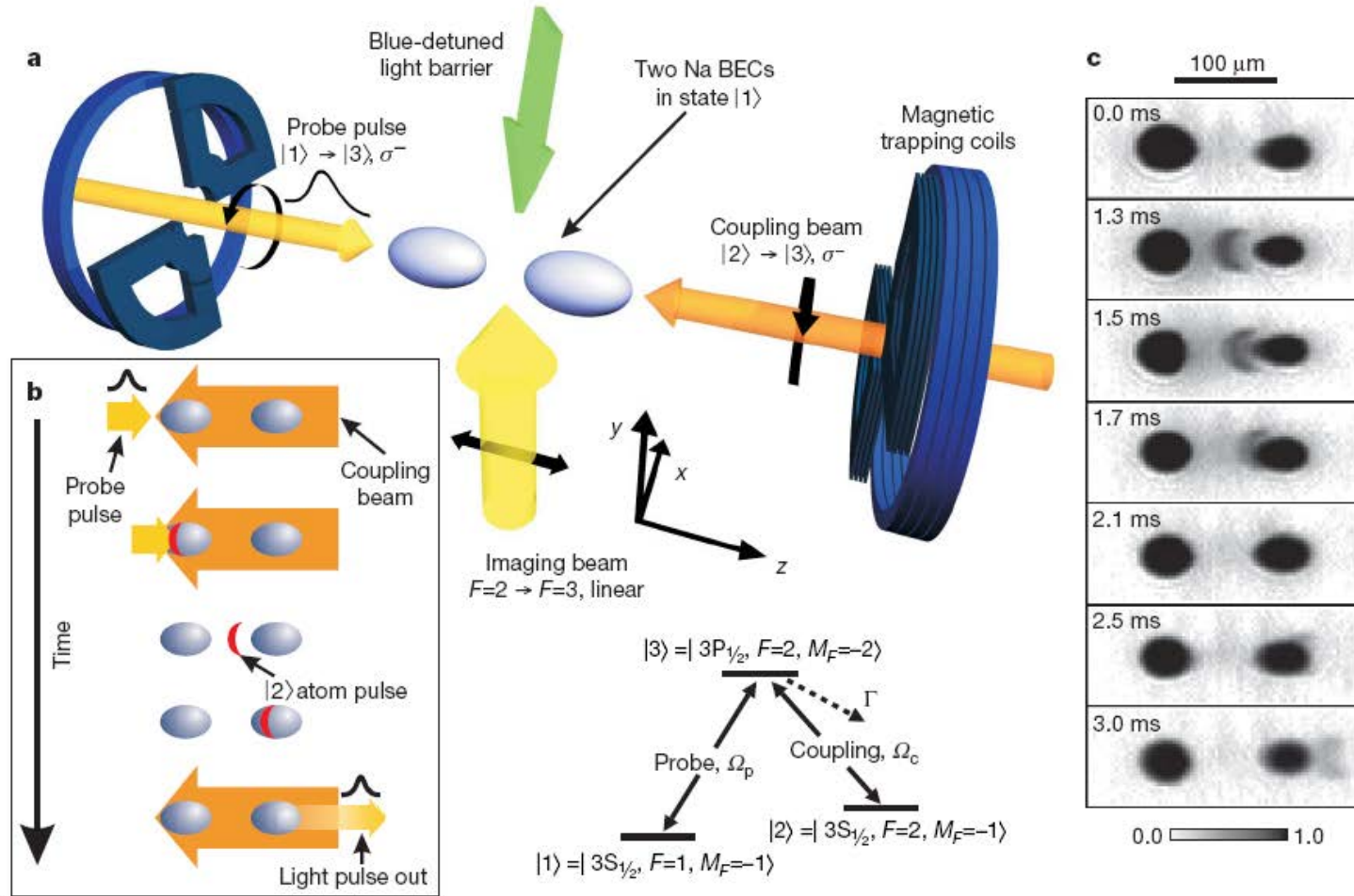


Figure 1 | Diagram of the experiment. **a**, Two sodium BECs (pale blue) are prepared in state $|1\rangle$ in a double-well potential formed by combining a harmonic magnetic trap (dark blue) and a repulsive optical dipole barrier (focused 532 nm green laser beam with elliptical gaussian cross-section). The entire potential is turned off 1 ms before experiments begin, whereupon the probe (light orange) and coupling (orange) laser beams are introduced. Finally, the condensates are imaged with a laser beam (yellow), near resonance for the atoms' $F = 2 \rightarrow F = 3$ transition, after optical pumping to $F = 2$. **b**, Experiments begin with the injection of a probe laser pulse (light orange) into the first (left) BEC, while the cloud is illuminated by the counter-propagating coupling laser beam (orange). The pulse propagates into the condensate under ultraslow light conditions. After the probe pulse is spatially compressed within the cloud, the coupling beam is switched off,

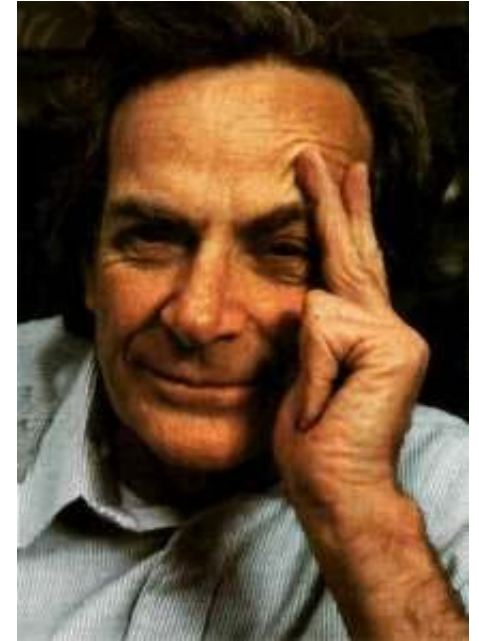
leaving an imprint of the probe pulse's phase and amplitude in the form of atomic population amplitude in state $|2\rangle$ (red). Each atom's $|2\rangle$ component has a momentum corresponding to two photon recoils (absorption from the probe beam and stimulated emission into the coupling beam) and is ejected towards the second (right) BEC. When this 'messenger' atom pulse in $|2\rangle$ arrives, the coupling beam is switched back on, and the probe light pulse is regenerated in the second condensate. Revived light pulses are imaged onto a $50 \mu\text{m}$ pinhole (to reject background light) and detected with a photomultiplier tube. **c**, Resonant absorption images of BECs and travelling messenger pulse, at indicated times since light pulse storage. No revival coupling beam is fired, and the messenger pulse is observed to travel through and beyond the second BEC.

Les condensats de Bose-Einstein
pour simuler la matière solide

Simuler les solides

« Si vous voulez faire une simulation de la nature, vous avez intérêt à ce qu'elle soit quantique, et ma foi, ça sera un magnifique problème, parce que ça ne va pas être si facile. »

R. Feynman « Simulating physics with computers »
(1981)

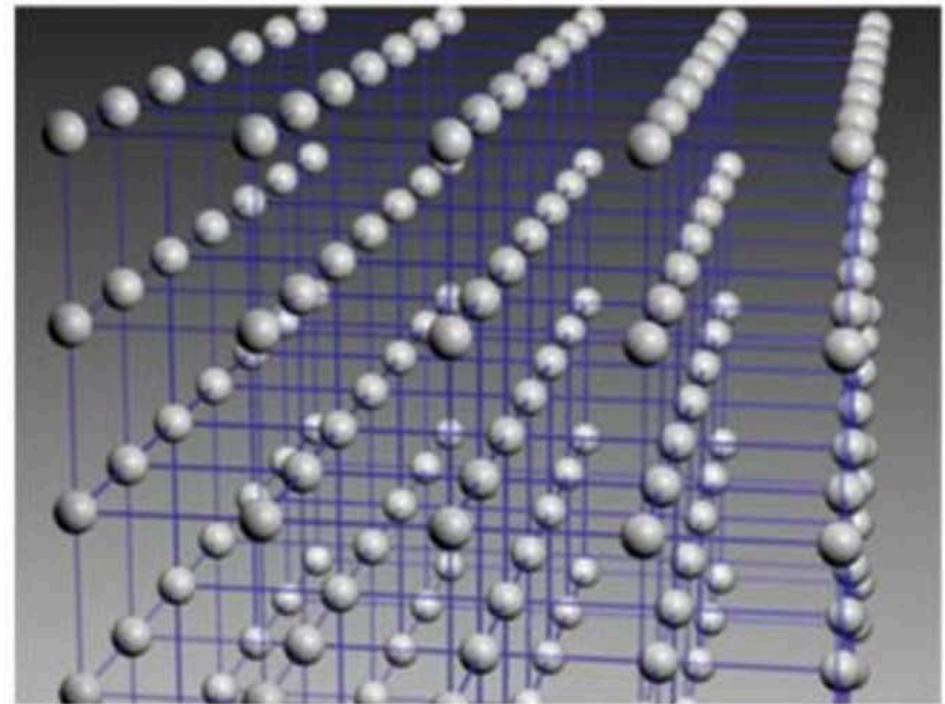
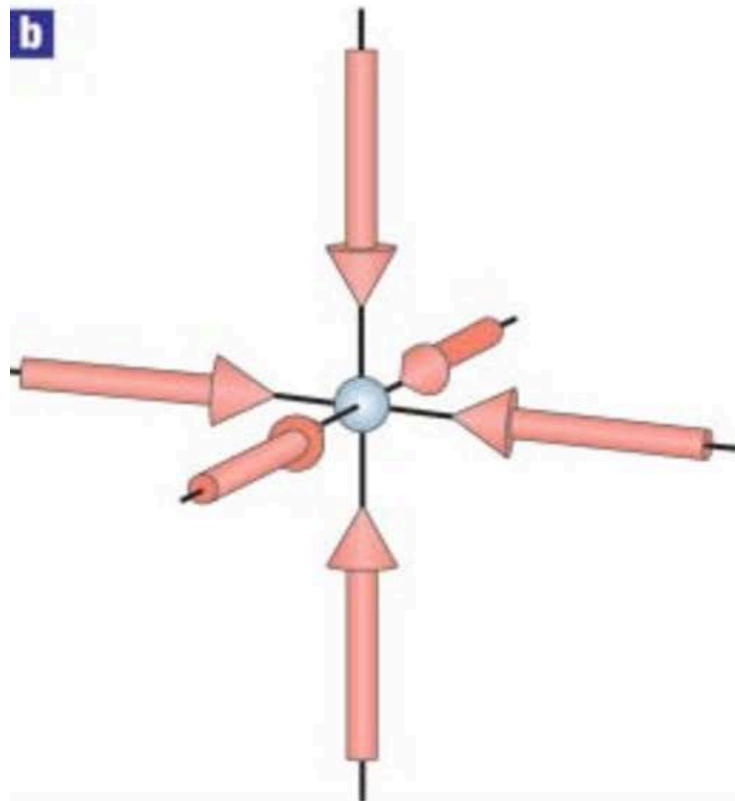


puissance de calcul en $\exp(\text{nb particules})$

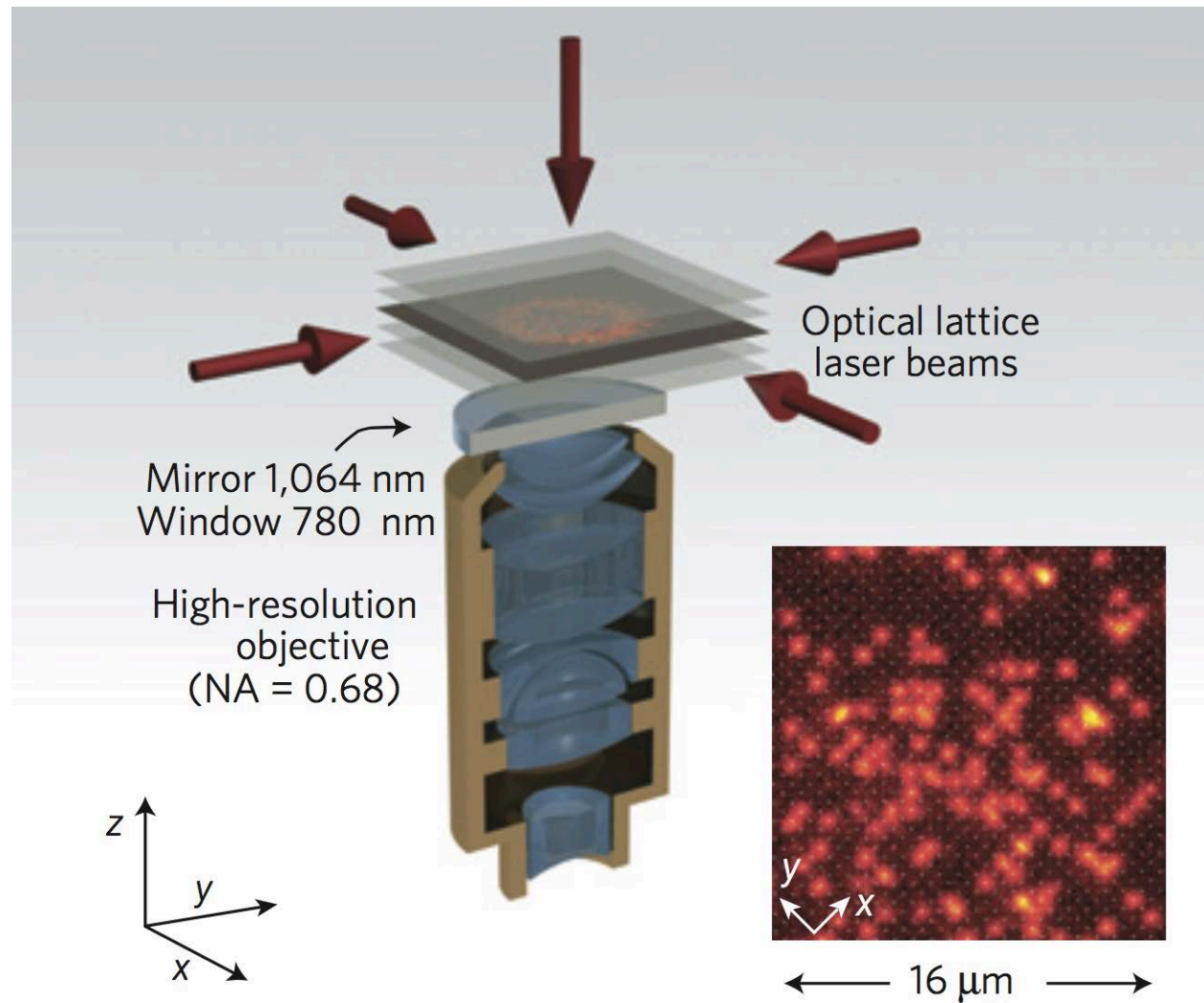
simulations quantiques des solides par des gaz froids

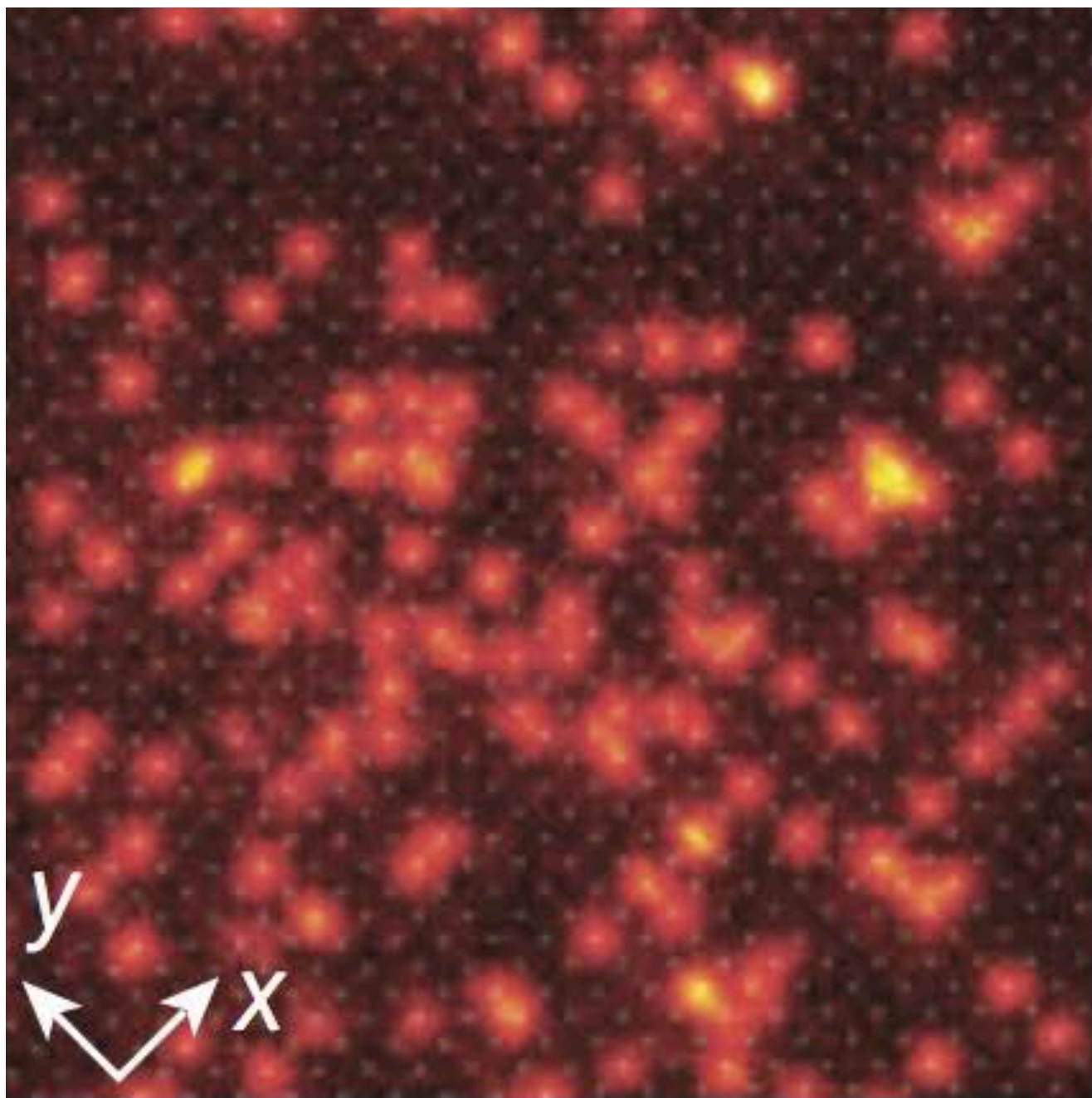
On simule le réseau périodique du cristal avec des interférences de faisceaux lasers (ici c'est la force optique dipolaire que ressent le condensat d'atomes).

En jouant sur intensité, fréquence et phase, on choisit sur mesure le type de réseau et la « structure de bande »



1. on crée le réseau et on refroidit un gaz d'atomes (mélasses optique)
2. juste avant la mesure, on augmente d'un facteur 1000 le piège
3. on bombarde ensuite les atomes de lumière pour les faire fluorescer (le piège est profond donc ils ne s'échappent pas)
4. on détecte pour chaque site si on observe de la fluorescence via CCD

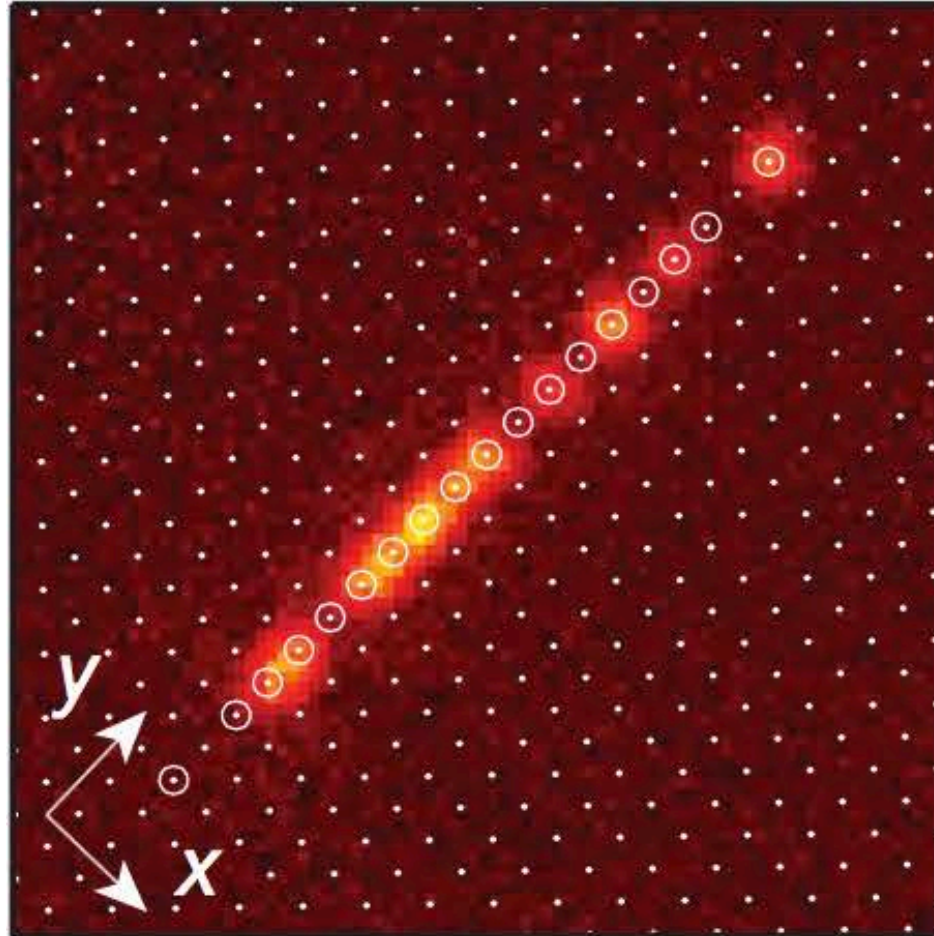




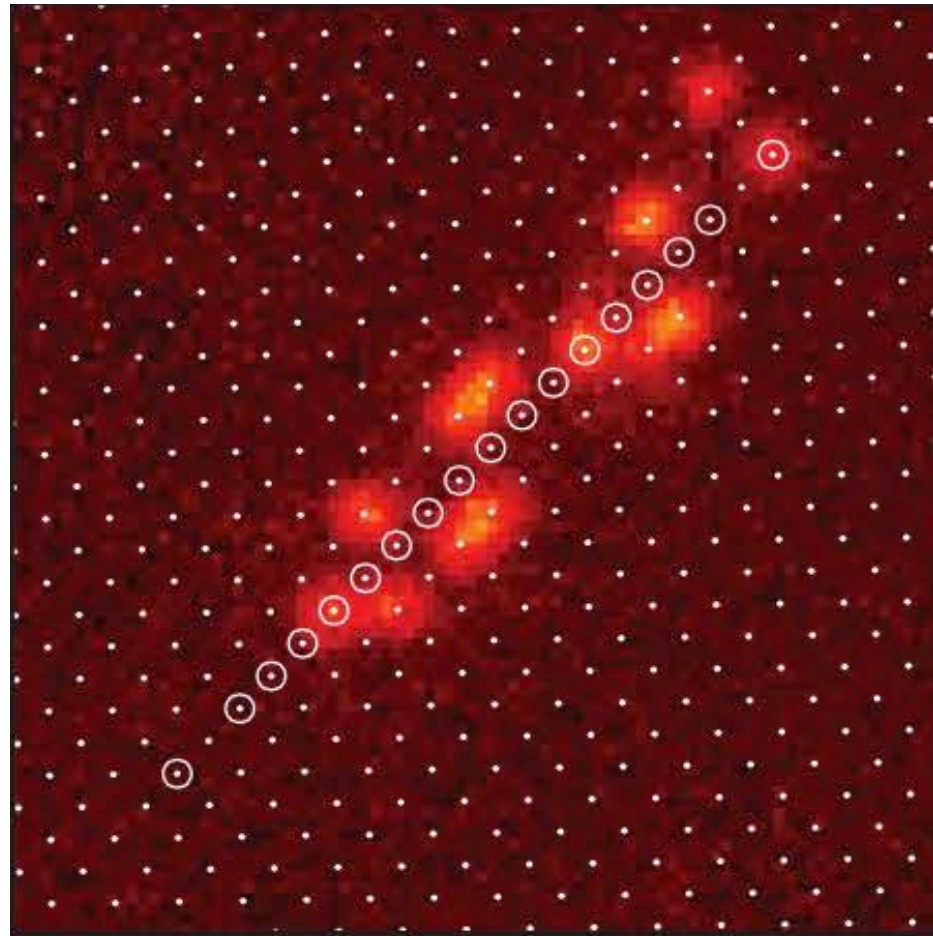
← 16 μm →

quand on refroidit, les atomes sont piégés
et ne peuvent se déplacer que par effet tunnel

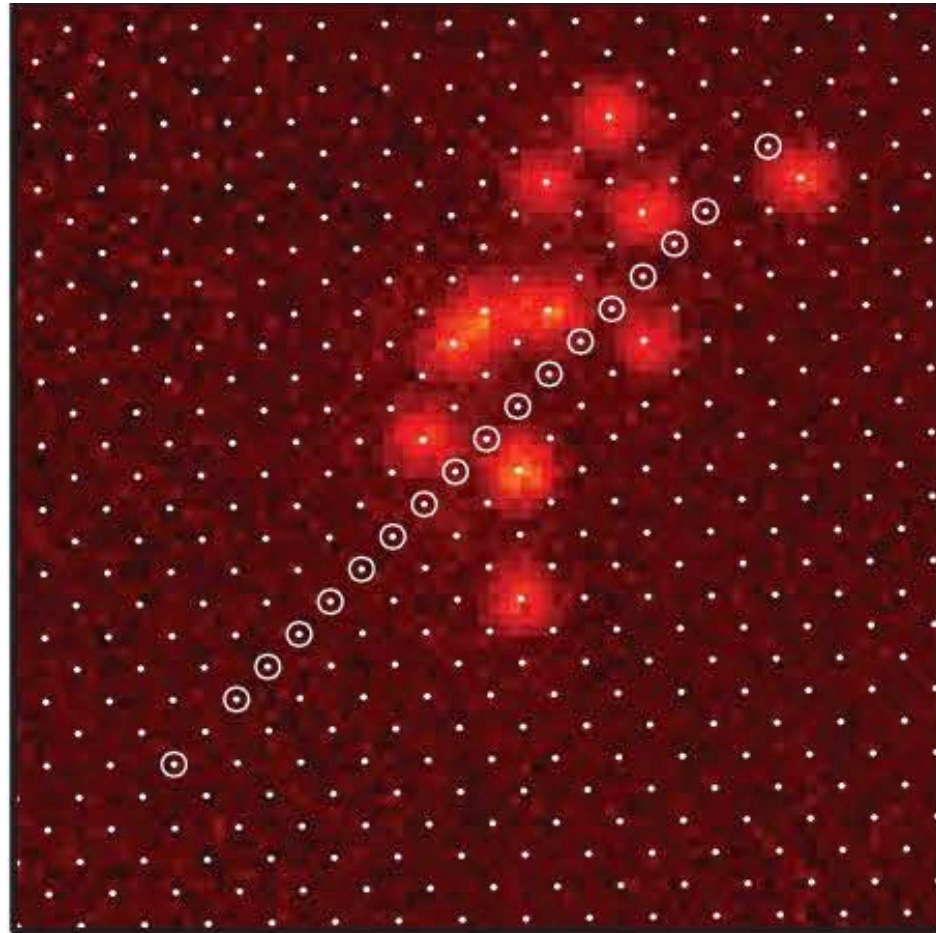
ici : ils sont piégés



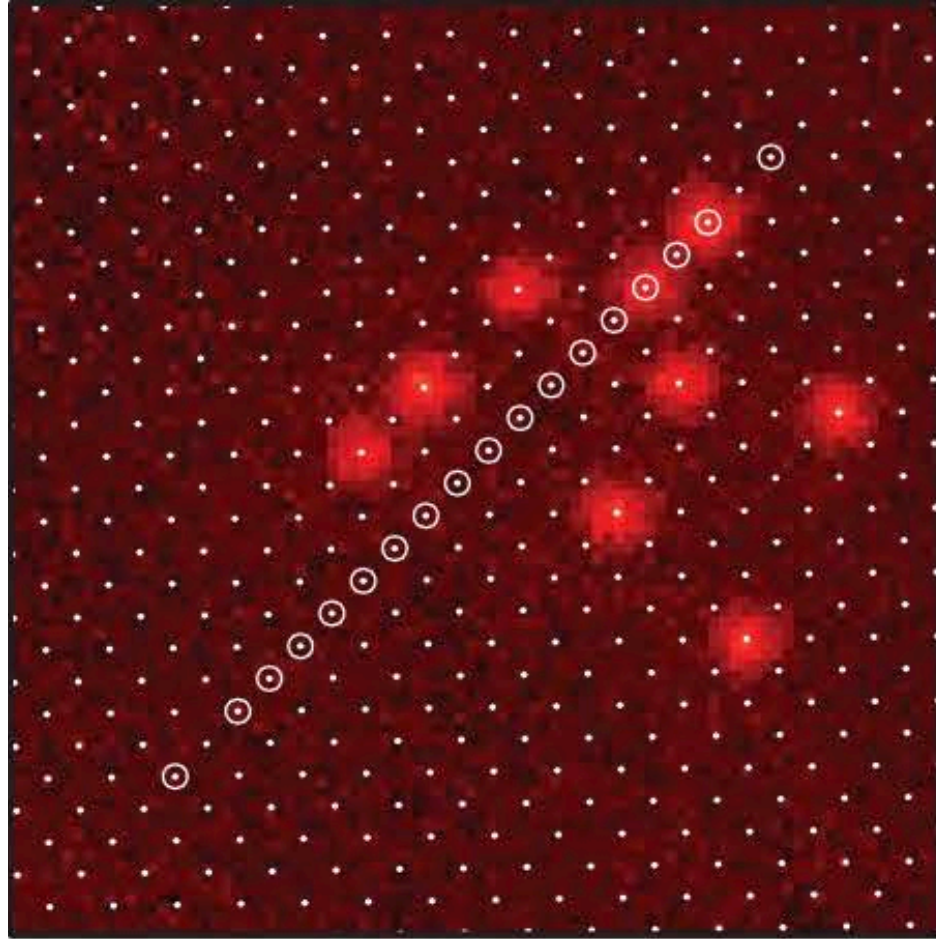
On diminue le potentiel selon x à basse température : ils sautent par effet tunnel de site en site.



$t=0.75$ msec



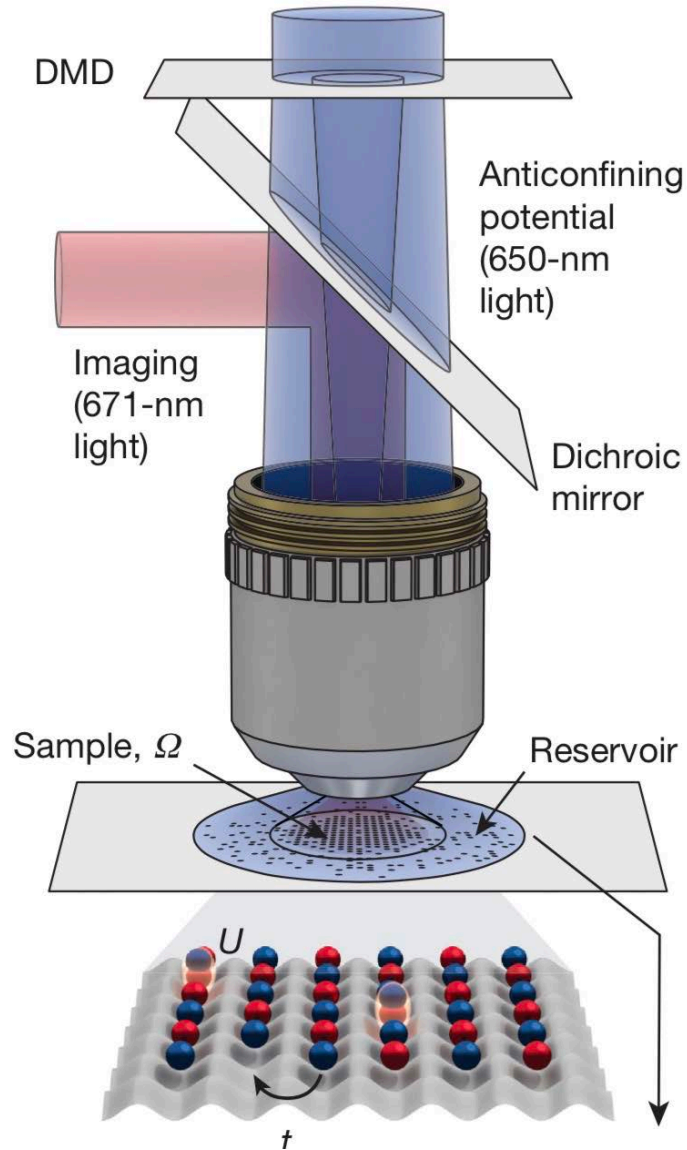
$t=1.5$ msec



t=3 msec

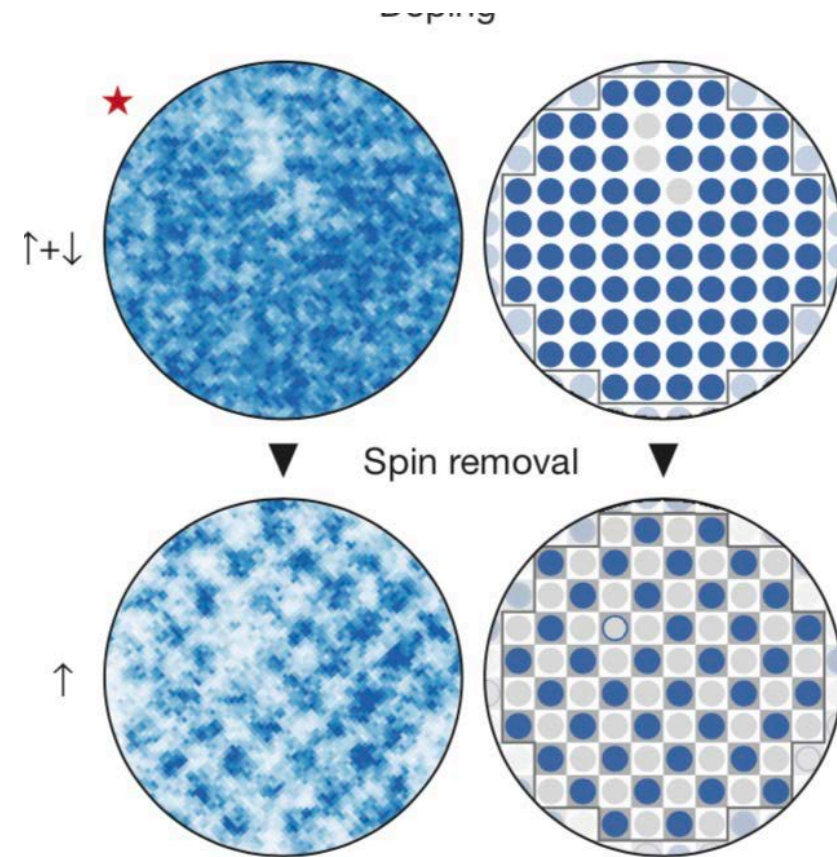
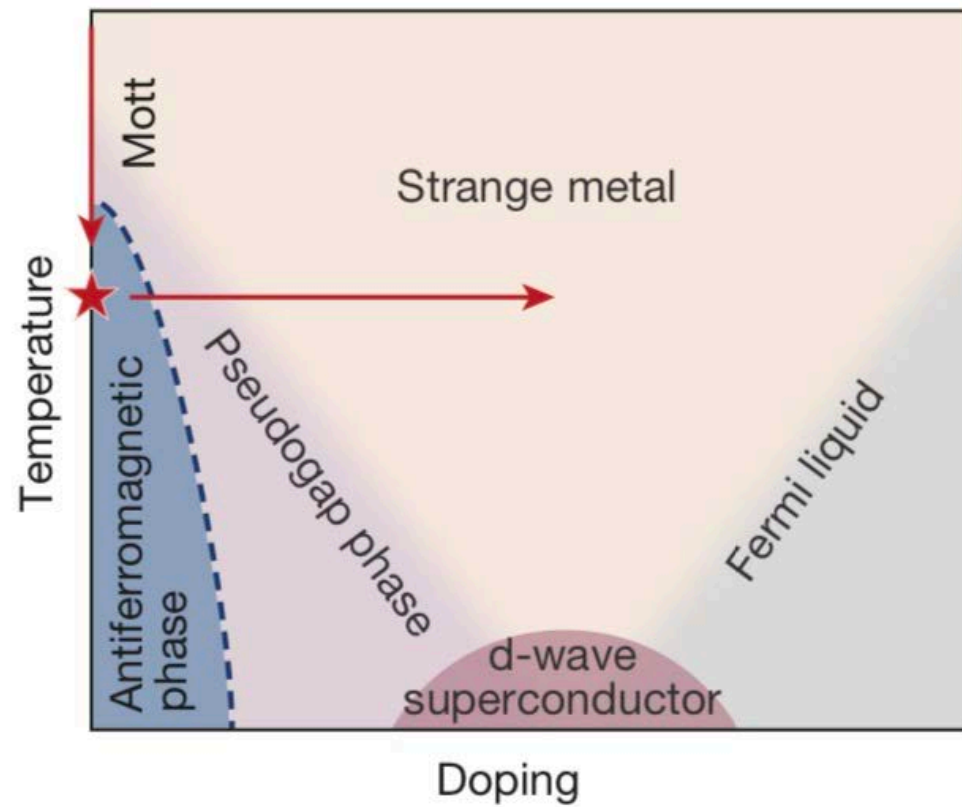
A cold-atom Fermi–Hubbard antiferromagnet

Anton Mazurenko¹, Christie S. Chiu¹, Geoffrey Ji¹, Maxwell F. Parsons¹, Márton Kanász-Nagy¹, Richard Schmidt¹, Fabian Grusdt¹, Eugene Demler¹, Daniel Greif¹ & Markus Greiner¹



A cold-atom Fermi–Hubbard antiferromagnet

Anton Mazurenko¹, Christie S. Chiu¹, Geoffrey Ji¹, Maxwell F. Parsons¹, Márton Kanász-Nagy¹, Richard Schmidt¹, Fabian Grusdt¹, Eugene Demler¹, Daniel Greif¹ & Markus Greiner¹



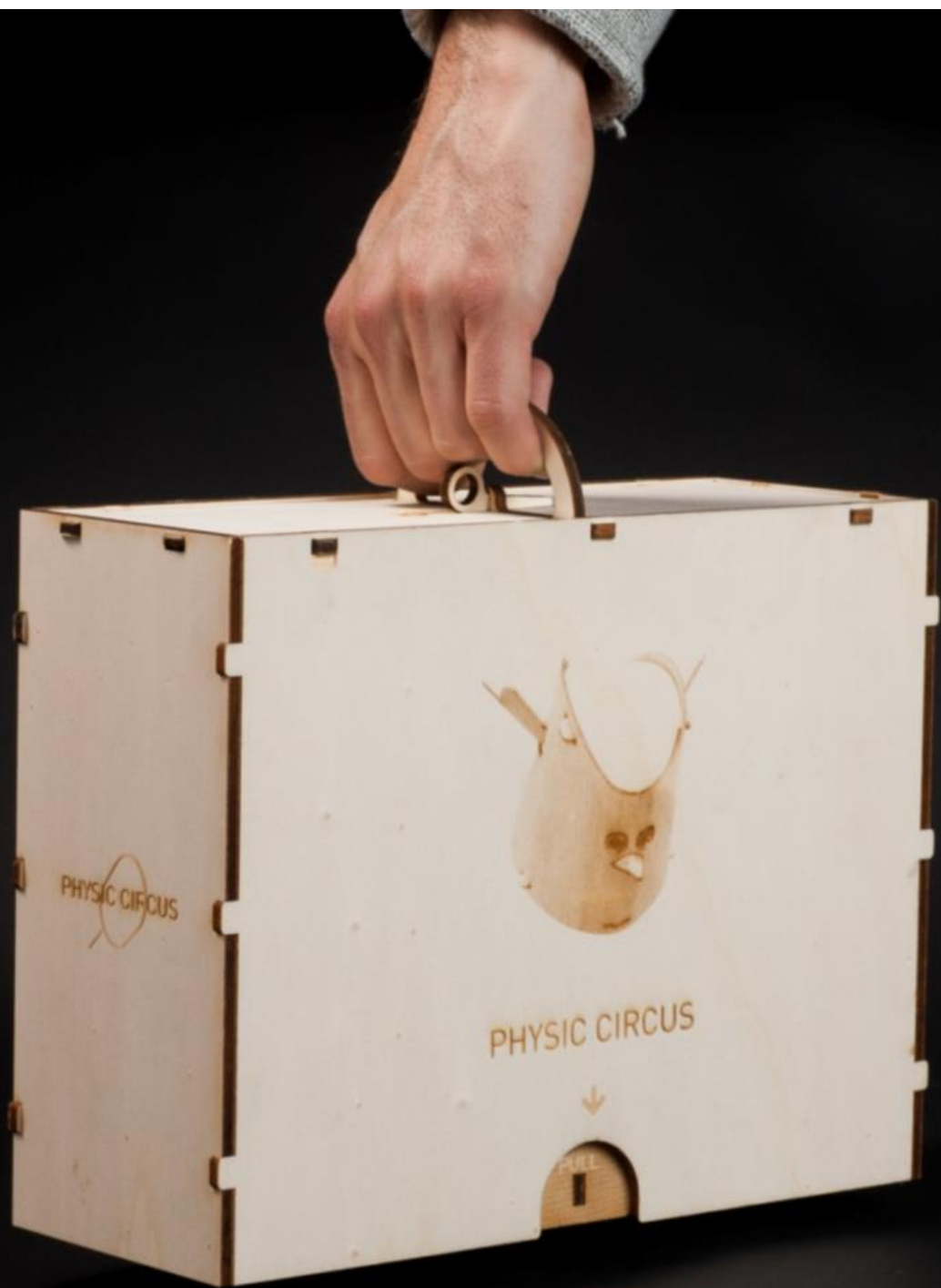
La supraconductivité et le grand public











PHYSIC CIRCUS

PHYSIC CIRCUS

↓
PULL

DÉMONSTRATION

le futur ?









des ressources pour les professeurs

Supraconductivité

La recherche

Applications

S'amuser

100 ans!



www.vulgarisation.fr

rubrique productions












la physique autrement
de nouvelles façons de présenter la physique moderne

NOTRE EQUIPE PRODUCTIONS GRAND PUBLIC EDUCATION RECHERCHE PHOTOS VIDEOS DOWNLOAD ENGLISH




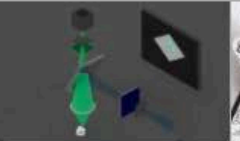








Productions par date · par sujet · par style · par format

physique quantique · supraconductivité · physique autre · chercheurs · enseignement

supraconductivité

 <p>Conférence sur la supraconductivité</p>	 <p>Contenus et dispositifs sur la supra</p>	 <p>Expo Lévitations Quantiques</p>	 <p>Supraconductivite.fr</p>	 <p>Trains supraconducteurs</p>	 <p>loi d'Ohm dans un supra</p>
 <p>SupraDesign</p>	 <p>Le Physics Circus</p>	 <p>Tour Eiffel supraconductrice</p>	 <p>Popups+Poster supras hauts Tc</p>	 <p>Pliages sur la supra et la quantique</p>	

autres sujets de physique

 <p>Voir l'invisible</p>	 <p>-195,79°C : recettes à l'azote liquide</p>	 <p>Le Livre le plus Froid du Monde !</p>	 <p>Animations sur les microscopes</p>	 <p>Magnétiques !</p>	 <p>Le Bubble Circus</p>
 <p>WORKSHOP LUMIERE</p>					

PETITES HISTOIRES QUANTIQUES
LA SUPRACONDUCTIVITÉ, 1911

KAMERLINGH ONNES



UNIVERSITÉ DE LEYDE, PAYS-BAS

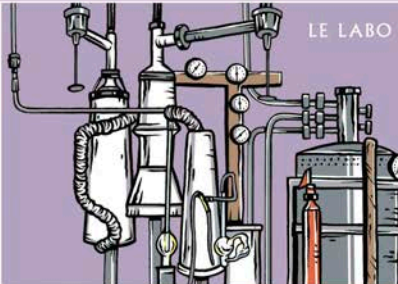


LA QUESTION

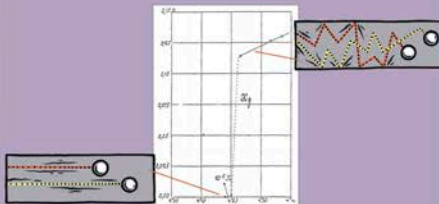


Un métal, ici le mercure, conduit-il mieux ou moins bien à basse température ?

LE LABO



LE RÉSULTAT



La résistance électrique du mercure chute brutalement à zéro à basse température. Le métal conduit parfaitement : c'est la supraconductivité.

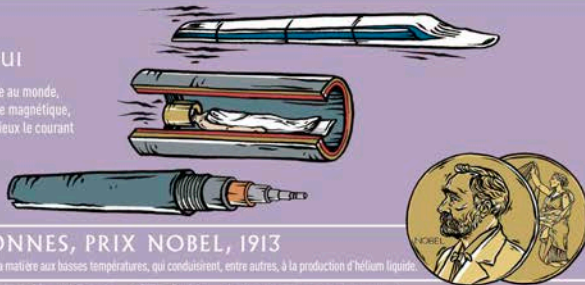
L'ARTICLE



Further experiments with Liquid Helium Com. N°124c from the Phys. Lab. at Leyden, 1911

AUJOURD'HUI

train à lévitation : le plus rapide au monde,
imagerie médicale : par résonance magnétique,
câbles électriques : conduisent mieux le courant



K. ONNES, PRIX NOBEL, 1913

Pour ses recherches sur les propriétés de la matière aux basses températures, qui conduisirent, entre autres, à la production d'hélium liquide.

Illustrations & conception : Pierre Sureau, de 1982, sous le pseudonyme de 'Bouff' et 'Bouff'. © La Physique Aujourd'hui - CNRS Éditions. Tous droits réservés. Toute réimpression sans autorisation est formellement interdite.

PETITES HISTOIRES QUANTIQUES
LA SUPERFLUIDITÉ, 1937

P. KAPITSA



INSTITUT DES PROBLÈMES PHYSIQUES,
MOSCOU, RUSSIE

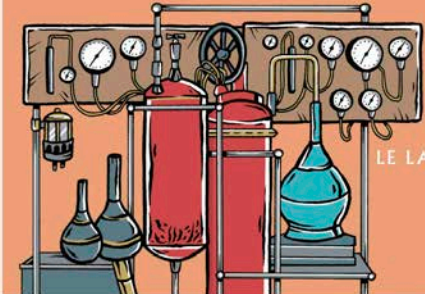


LA QUESTION

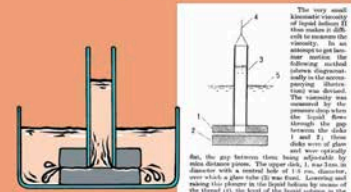


Que devient un liquide très près du zéro absolu s'il ne gèle pas ?

LE LABO



LE RÉSULTAT



L'hélium est placé dans une colonne au dessus de deux plaques près du zéro absolu. Il arrive à s'écouler entre les plaques même quand elles se touchent ! Kapitza appelle cela de la superfluidité.

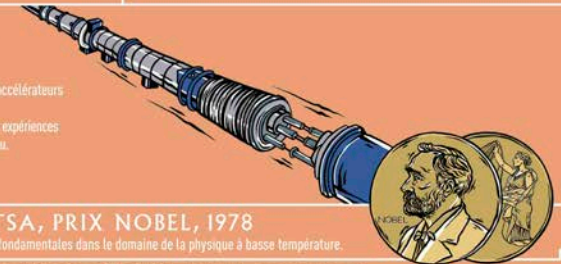
LES ARTICLES



Viscosity of Liquid Helium below the λ -Point, P. Kapitza, Nature 74, 141 (1938)
Flow of liquid helium II, J.F. Allen, A.D. Misener, Nature 75, 141 (1938)

AUJOURD'HUI

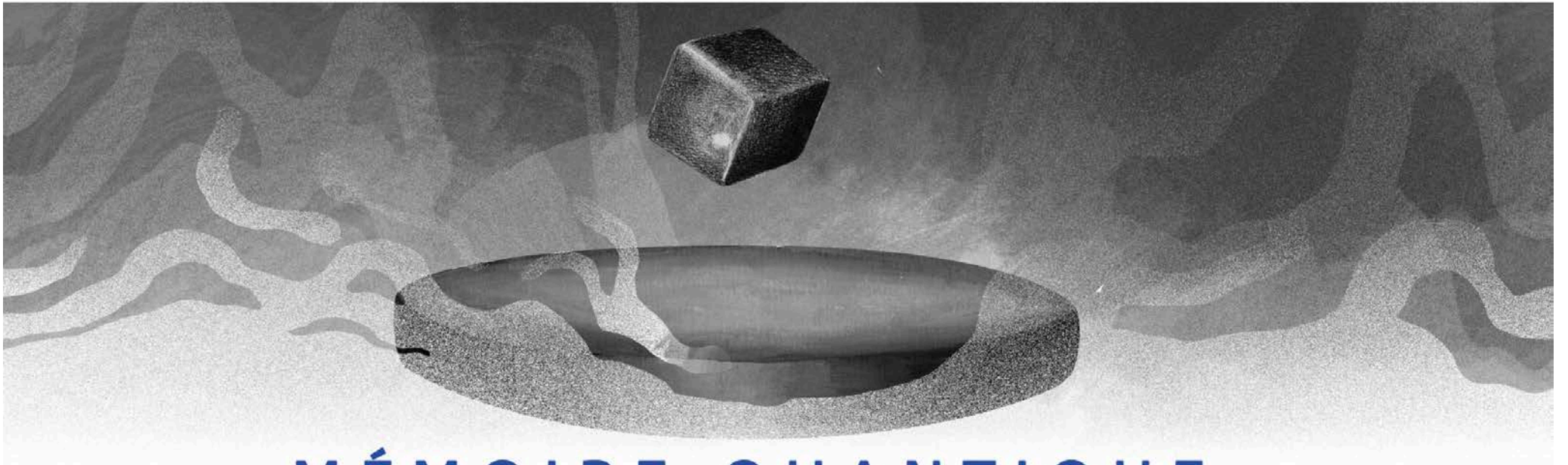
L'hélium superfluide permet de refroidir les accélérateurs de particule comme le LHC.
Il est aussi l'outil indispensable pour faire des expériences de physique très près du zéro absolu.



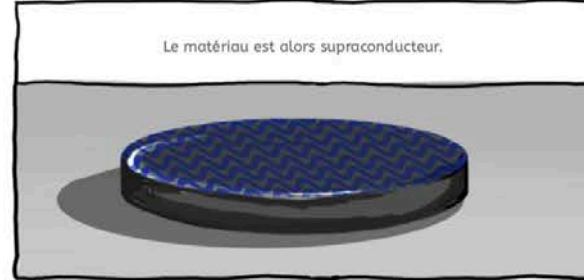
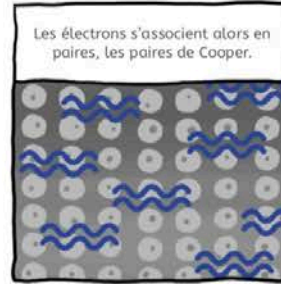
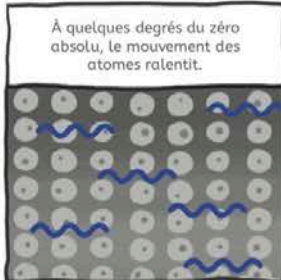
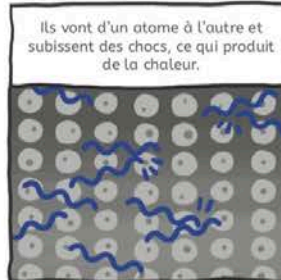
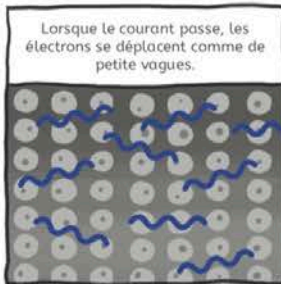
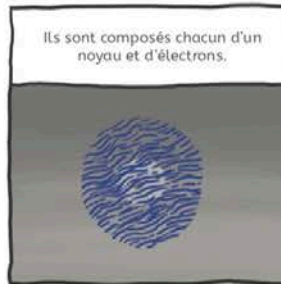
P. KAPITSA, PRIX NOBEL, 1978

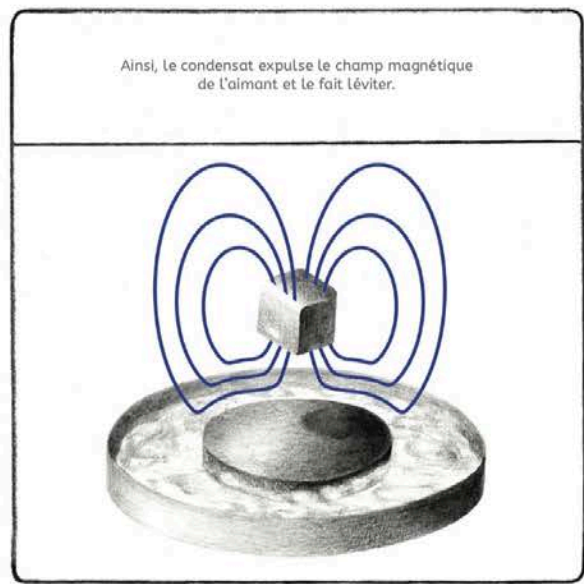
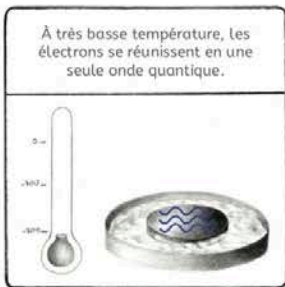
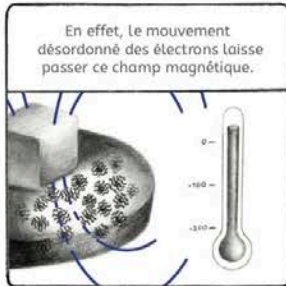
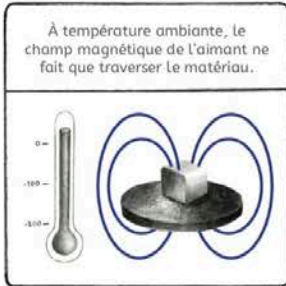
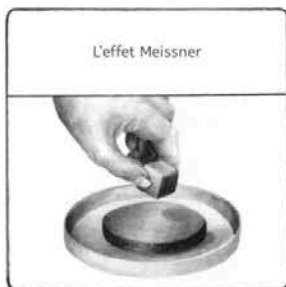
Pour ses inventions et découvertes fondamentales dans le domaine de la physique à basse température.

Illustrations & conception : Pierre Sureau, de 1982, sous le pseudonyme de 'Bouff' et 'Bouff'. © La Physique Aujourd'hui - CNRS Éditions. Tous droits réservés. Toute réimpression sans autorisation est formellement interdite.



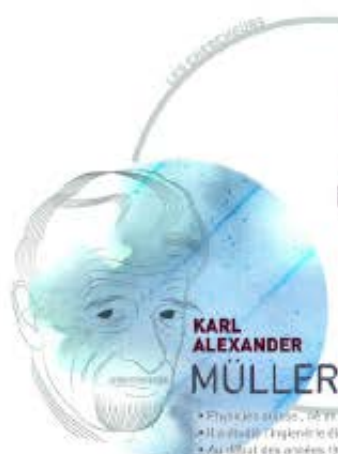
MÉMOIRE QUANTIQUE







LA SUPRACONDUCTIVITÉ



KARL ALEXANDER MÜLLER

- Physicien autrichien, né en 1927.
- A obtenu l'ingénierie électrique.
- Au début des années 1960, Müller commence à chercher des substances supraconductrices à hautes températures. La plus haute température connue est alors de 23 K. En 1983, il recrute Johannes Georg Bednorz pour l'aider à tester des copies.



JOHANNES GEORG BEDNORZ

- Physicien allemand, né en 1950.
- Il a obtenu la médecine.
- En 1983, Karl Alexander Müller et lui-même commencent une étude systématique des propriétés électriques de céramiques formées à partir d'oxyde de métaux de transition. En 1986, ils obtiennent la supraconductivité dans un oxyde de baryum-kathman-cuivre à la température de 35 K.

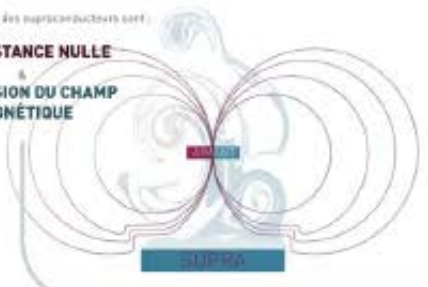
À très basse température, les propriétés électriques et magnétiques de certains matériaux changent. On appelle ces matériaux

LES SUPRACONDUCTEURS

Les caractéristiques des supraconducteurs sont :

LA RÉSISTANCE NULLE

L'EXPULSION DU CHAMP MAGNÉTIQUE



L'EXPULSION DES CHAMPS MAGNÉTIQUES

L'expulsion des champs magnétiques permet la lévitation.

LA RÉSISTANCE NULLE

Un matériau supraconducteur est un conducteur idéal : lorsqu'un courant électrique passe dans un supraconducteur, il ne subit aucune résistance et la puissance de ce courant ne décroît pas. Le matériau n'est pas chauffé pas.



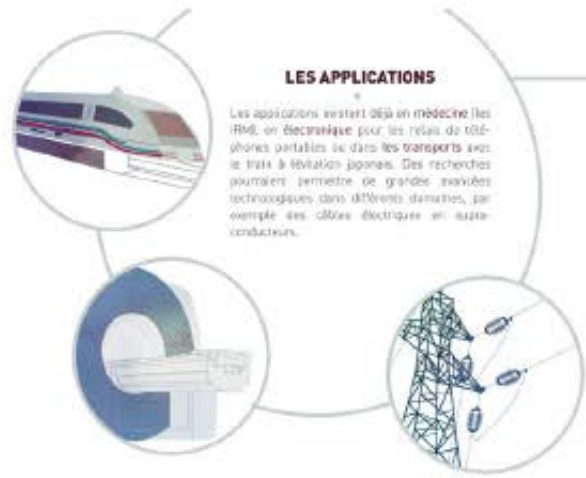
COMMENT REFRIGÉRER UN SUPRACONDUCTEUR

Pour refroidir un matériau supraconducteur, on le plonge dans un liquide cryogénique, comme de l'azote ou de l'hélium liquide. On utilise aussi des frigos spéciaux qui permettent de refroidir les supraconducteurs jusqu'à quelques dixièmes de degré absolu. C'est la manière la plus simple de refroidir un solide à des températures extrêmes.



LES APPLICATIONS

Les applications existent déjà en médecine (les IRM), en électricité pour les relais de téléphones portables ou dans les transports avec le train à lévitation japonais. Des recherches pourraient permettre de grandes avancées technologiques dans différents domaines, par exemple des câbles électriques en supraconducteurs.



LES MATÉRIAUX

Plus de la moitié des éléments de base sont supraconducteurs, comme le mercure, l'aini, le plomb et l'aluminium. Les meilleurs supraconducteurs sont de nouveaux conducteurs à température ambiante. Les cuprates découverts par Müller et Bednorz sont les matériaux les plus intéressants car ils deviennent supraconducteurs à une température plus élevée que les autres.

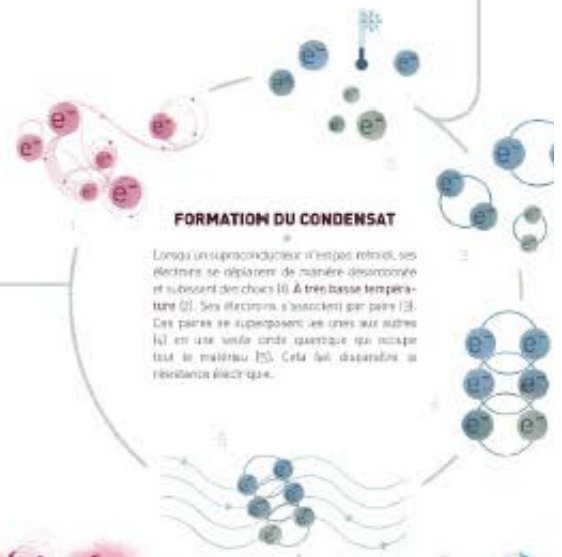
LES ÉLÉMENTS SUPRACONDUCTEURS

Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	Mo	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Rn
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr



FORMATION DU CONDENSAT

Lorsqu'un supraconducteur n'est pas refroidi, les électrons se déplacent de manière désordonnée et subissent des chocs. À très basse température (0), les électrons s'associent par paires (2). Ces paires se superposent les unes aux autres (4) en une seule onde quantique qui occupe tout le matériau (5). Cela fait disparaître la résistance électrique.



L'onde quantique que l'on trouve condensée est comparable à un banc de poissons dont chaque individu suit le même mouvement.



Lévitacion Quantique: l'expo

Une expo de dix photos pour illustrer la lévitation supraconductrice, une promenade entre physique et design.

Lévitacion Quantique

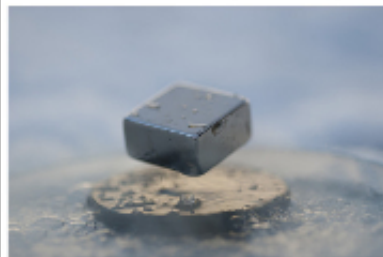
promenade entre physique et design

Émergence de la lévitation quantique et de la supraconductivité, la physique quantique et la supraconductivité sont des phénomènes fascinants qui ont révolutionné notre compréhension de la physique fondamentale. Explorez les principes et les applications de ces phénomènes dans une exposition interactive et immersive.

Qu'est-ce que la supraconductivité ? Comment fonctionne-t-elle ? Découvrez les applications de la supraconductivité dans la médecine, l'énergie et les transports. Explorez les principes de la supraconductivité et de la lévitation quantique dans une exposition interactive et immersive.

Mais attention ! La supraconductivité n'est pas une magie. Elle est le résultat de la physique quantique et de la supraconductivité. Explorez les principes de la supraconductivité et de la lévitation quantique dans une exposition interactive et immersive.

www.vapeur.com



Lévitacion quantique (les supraconducteurs)

La supraconductivité est un phénomène physique qui se produit à très basse température. Elle permet de réaliser des expériences de lévitation quantique.



Supraconductivité

La supraconductivité est un phénomène physique qui se produit à très basse température. Elle permet de réaliser des expériences de lévitation quantique.



Système Magnétique de la Supraconductivité

Un système magnétique de supraconductivité est un système qui permet de réaliser des expériences de lévitation quantique.



Un objet flottant (supraconductivité)

Un objet flottant est un objet qui se maintient en l'air grâce à la supraconductivité.



Un objet flottant (supraconductivité)

Un objet flottant est un objet qui se maintient en l'air grâce à la supraconductivité.



Le Tour Eiffel Quantique

Le Tour Eiffel Quantique est un projet de supraconductivité qui vise à réaliser des expériences de lévitation quantique.



Objet Quantique

Un objet quantique est un objet qui se maintient en l'air grâce à la supraconductivité.



Un Objet Quantique

Un objet quantique est un objet qui se maintient en l'air grâce à la supraconductivité.



Le Pétale

Le Pétale est un projet de supraconductivité qui vise à réaliser des expériences de lévitation quantique.



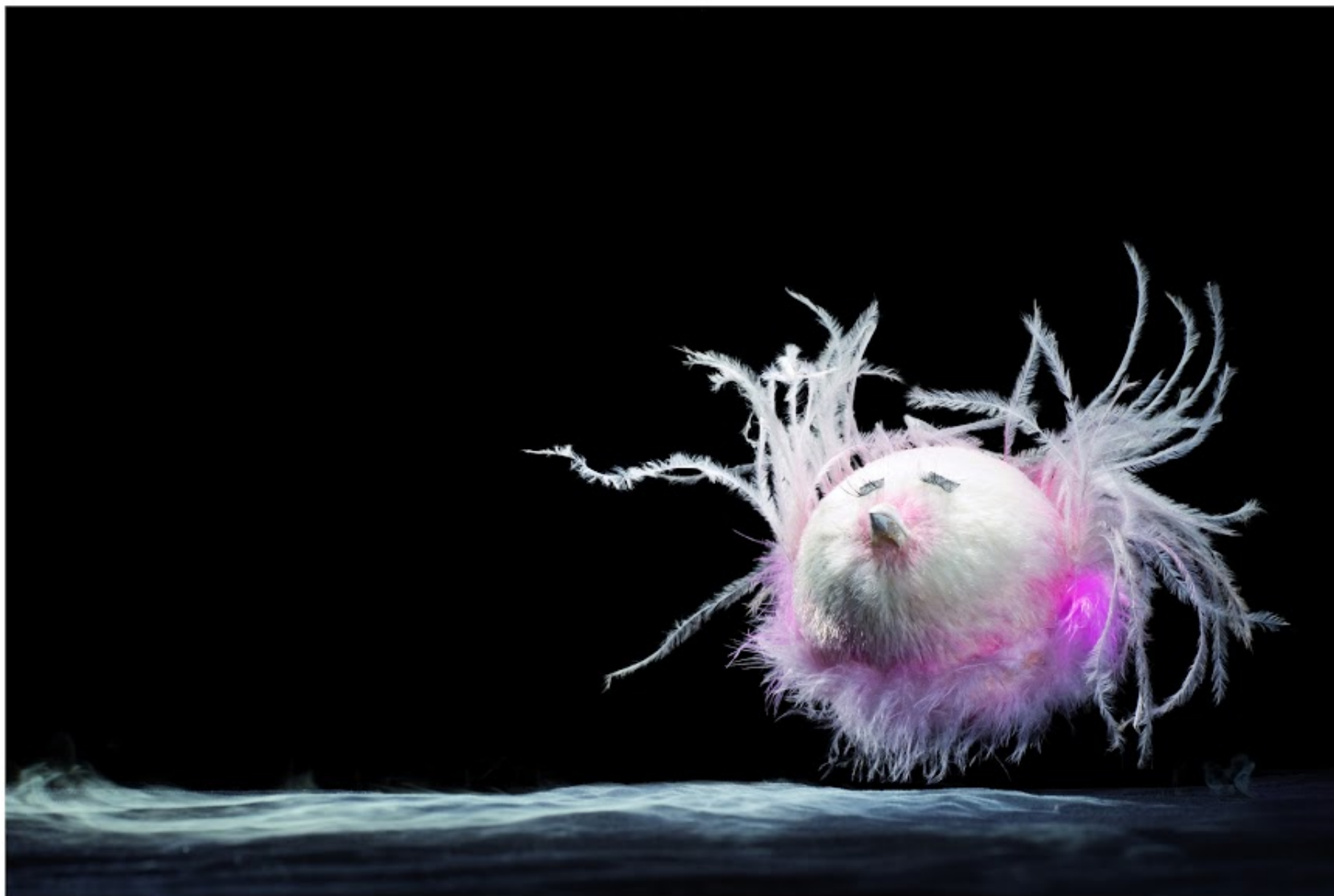
Lévitacion cuántica : los superconductores

Los superconductores expulsan los campos magnéticos creados por los imanes a baja temperatura. Aquí, por ejemplo, un superconductor enfriado con nitrógeno líquido a -196°C puede hacer flotar un imán.



Origami Quantique

La lévitation quantique peut être utilisée ailleurs qu'en physique. Ici, elle permet ainsi de faire flotter un petit origami sur son aimant.



Un Cirque Supra

Ce petit animal poilu fait partie du «Physics Circus», sorte de théâtre de marionettes supraconductrices pour les enfants et les plus grands. Cet animal là est même capable de danser le french can can, à voir en vidéo sur physiccircus.fr !



Le Futur ?

Ici, un designer imagine ce que pourraient devenir les bijoux si on pouvait utiliser les supraconducteurs sans besoin de les refroidir. Rêve ou possibilité ? Les chercheurs y travaillent.



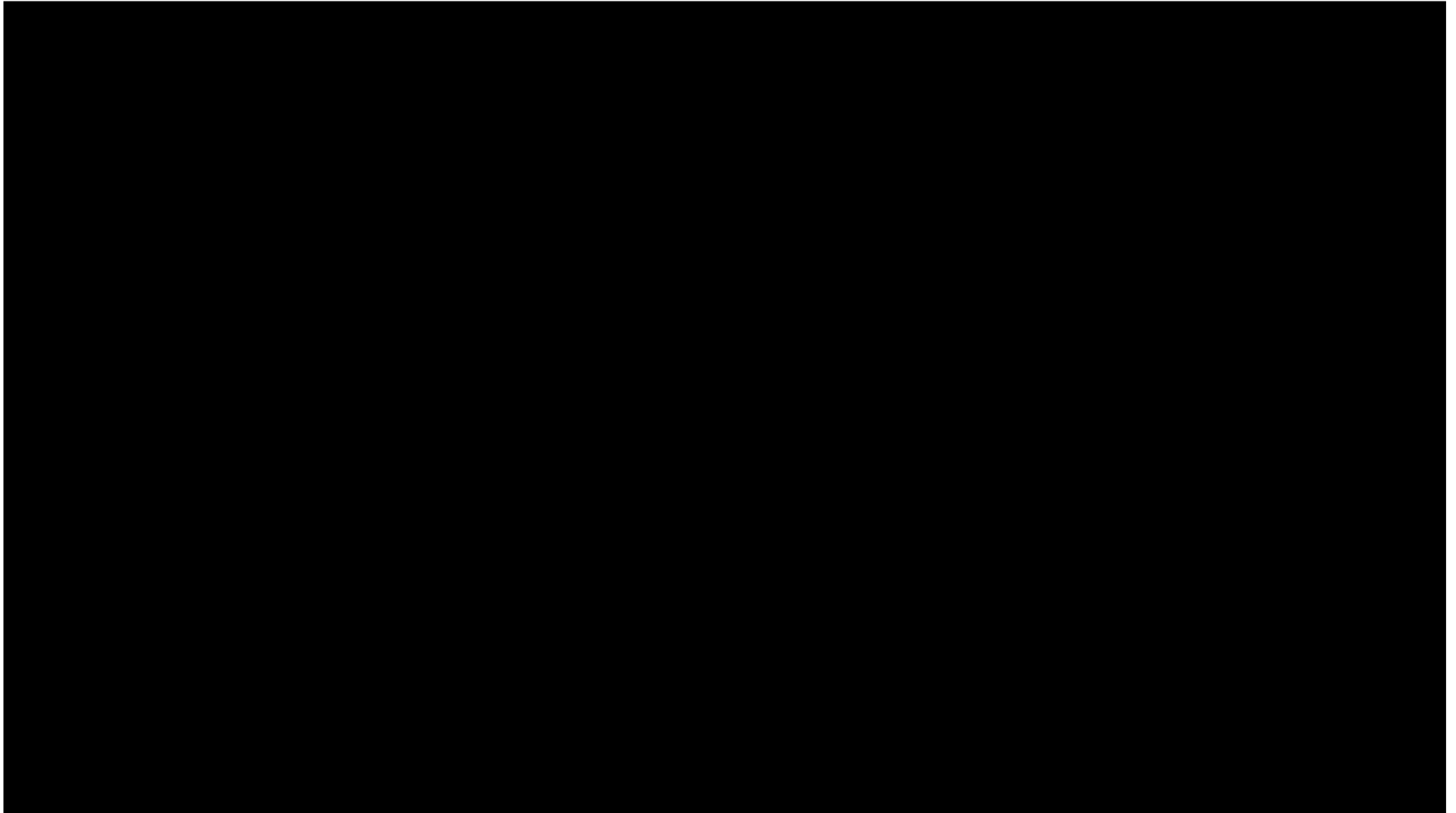


1987

HÉLIUM LIQUIDE
-268°C

SUPERCONDUCTIVITY

Le livre le plus froid du Monde



LE FROID ET LA SUPRACONDUCTIVITÉ

L'expérience de la lévitation



À haute température



À basse température

À très basse température, certains métaux deviennent supraconducteurs. Leurs électrons forment soudain une sorte de vague quantique géante. Ces matériaux conduisent alors le courant électrique parfaitement. De plus, ils expulsent les champs magnétiques. C'est pour cela qu'ils font léviter les aimants.



À haute température



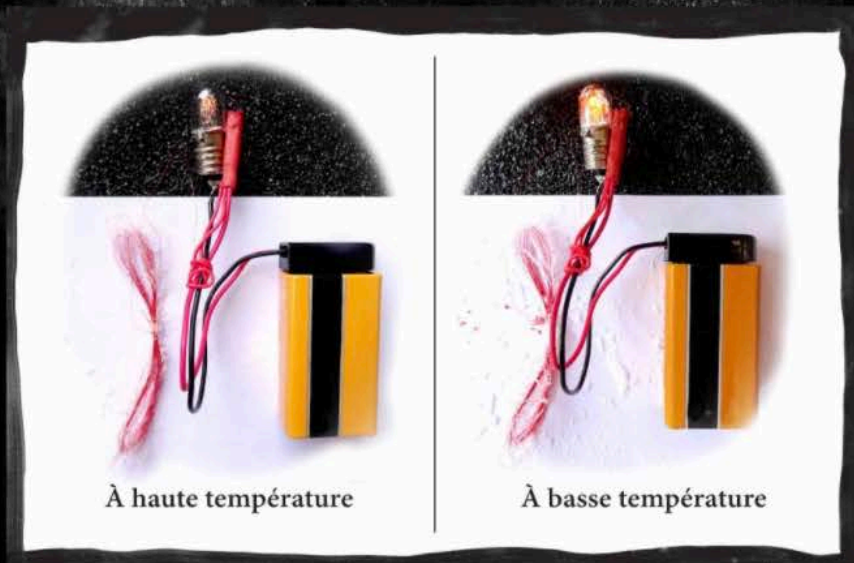
À basse température



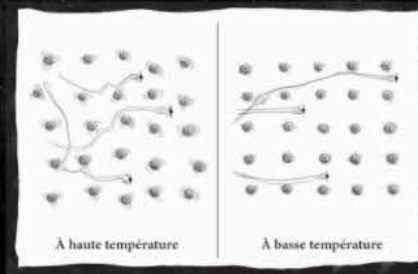
En 1911, Kamerlingh Onnes découvre la supraconductivité en étudiant le mercure.

LE FROID ET LES MÉTAUX

L'expérience de la conductivité



Quand on refroidit un métal, ses électrons circulent mieux car ils sont moins freinés par les vibrations des atomes. La résistance électrique diminue et ici, l'ampoule reçoit alors plus de courant et s'allume.

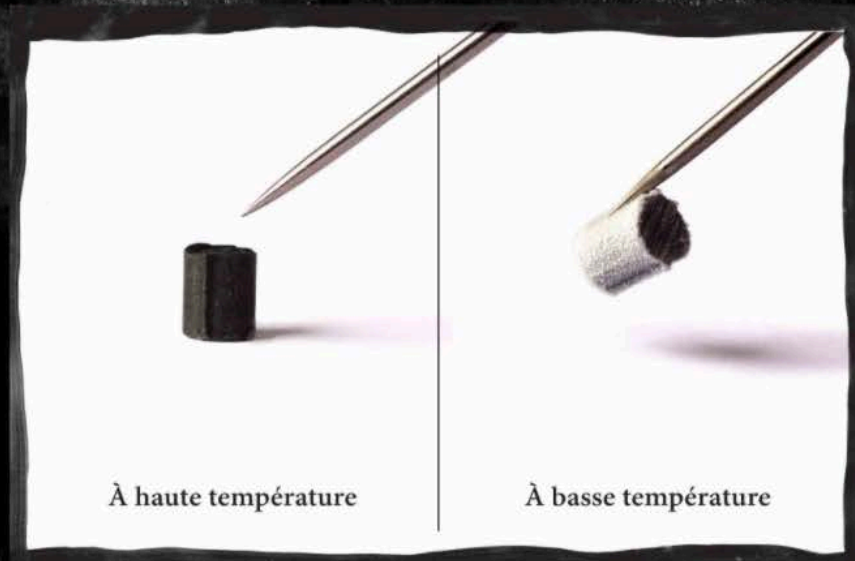


En 1827, Georg Ohm publie une théorie de l'électricité où il montre que tension électrique et courant électrique sont proportionnels dans les métaux.

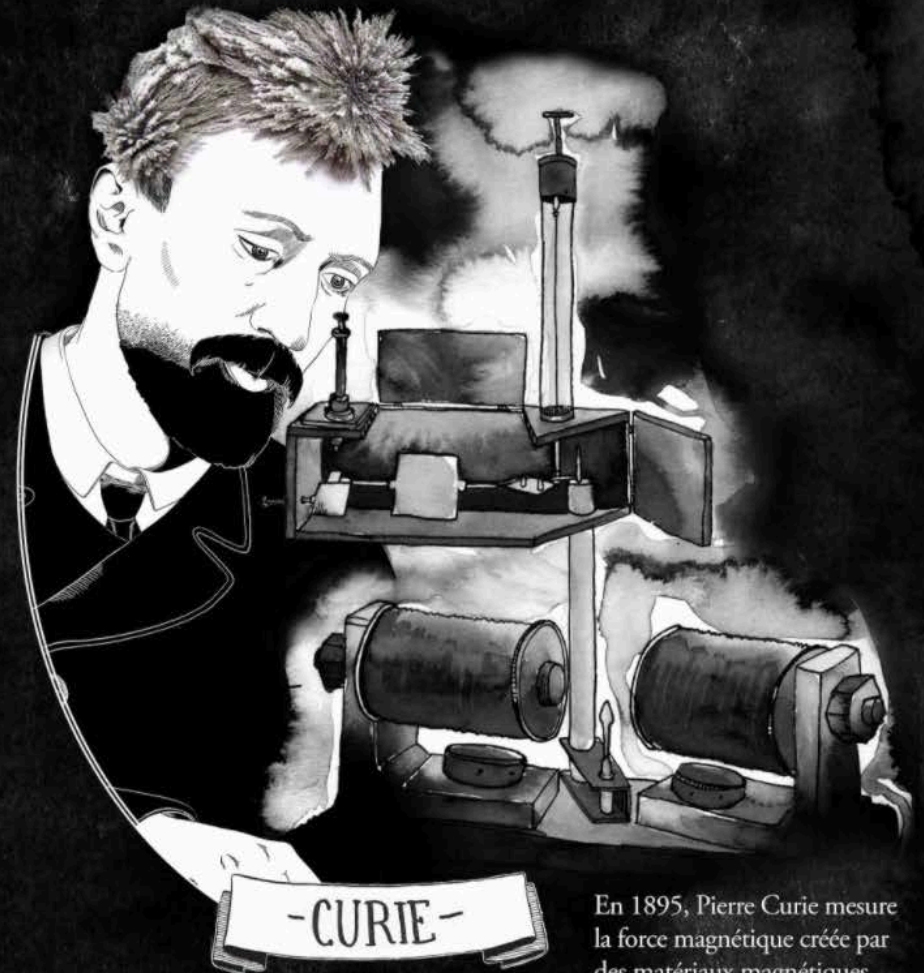
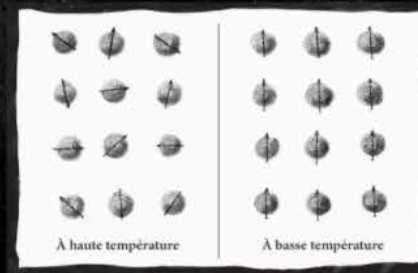


LE FROID ET LES AIMANTS

L'expérience de la lévitation



Dans un aimant, les atomes portent de petits aimants quantiques appelés spins. Quand on le refroidit, tous les spins s'alignent, et il apparaît des pôles Nord et Sud. Mais quand on le chauffe au-dessus d'une certaine température dite de Curie, tous les spins se désordonnent et le matériau n'est plus magnétique.



En 1895, Pierre Curie mesure la force magnétique créée par des matériaux magnétiques quand ils sont placés dans un champ magnétique variable.

L'exposition

Le fichier pdf de l'expo à télécharger [ici](#) et en jpg [ici](#) (pour une meilleure resolution, nous contacter)
expo libre d'utilisation (licence Creative Commons)



Le FROID et Le CROUD

L'expérience de la condensation



Un récipient contenant de l'eau est placé sur un support. Au-dessus, un récipient contenant de l'air est placé. L'air est refroidi, ce qui provoque la condensation de l'eau.

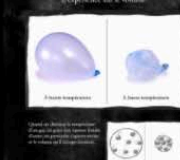


Celsius


Anders Celsius (1701-1744) est un physicien suédois. Il a inventé l'échelle de température Celsius.

Le FROID et Les GAZ

L'expérience sur le volume



Un ballon rempli d'air est placé dans un récipient. Le ballon est refroidi, ce qui provoque une diminution de son volume.




Boyle


Robert Boyle (1627-1691) est un chimiste et physicien irlandais. Il a découvert la loi de Boyle.

Le FROID et Les LIQUIDES

L'expérience de la liquéfaction



Un récipient contenant un gaz est placé dans un récipient. Le récipient est refroidi, ce qui provoque la liquéfaction du gaz.




Lavoisier

Antoine Lavoisier (1743-1794) est un chimiste français. Il a découvert la conservation de la masse.




Le FROID et L'EFFET LAIDENBROST

L'expérience de la solidification



Un récipient contenant un liquide est placé dans un récipient. Le récipient est refroidi, ce qui provoque la solidification du liquide.



Lidenbrost

John Lidenbrost (1733-1805) est un physicien danois. Il a découvert l'effet Lidenbrost.

Le FROID et Les SOLIDES

L'expérience de la solidité



Un récipient contenant un solide est placé dans un récipient. Le récipient est refroidi, ce qui provoque la solidité du solide.



Joule

James Joule (1818-1889) est un physicien anglais. Il a découvert la conservation de l'énergie.

Le FROID et Les AIMANTS

L'expérience de la lévitation



Un aimant est placé au-dessus d'un récipient. Le récipient est refroidi, ce qui provoque la lévitation de l'aimant.



Curie

Marie Curie (1867-1934) est une physicienne polonaise. Elle a découvert le radium et le polonium.

Le FROID et Les MÉTAUX

L'expérience de la conductivité



Un récipient contenant un métal est placé dans un récipient. Le récipient est refroidi, ce qui provoque la conductivité du métal.




Ohm


Georg Ohm (1789-1854) est un physicien allemand. Il a découvert la loi d'Ohm.

Le FROID et LA SUPRACONDUCTIVITÉ

L'expérience de la lévitation



Un récipient contenant un supraconducteur est placé dans un récipient. Le récipient est refroidi, ce qui provoque la lévitation du supraconducteur.



Heisler

Heinrich Heisler (1897-1972) est un physicien allemand. Il a découvert la supraconductivité.

des sites ressource:

www.supraconductivite.fr

www.vulgarisation.fr

rubrique productions, choisir « par sujet »

www.youtube.com/vulgarisation

blog pour les modes d'emploi et détails pratiques :

www.manipsupra.fr