

Qui a découvert la superfluidité ?

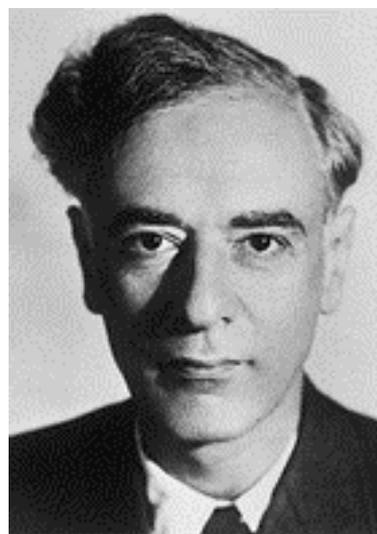
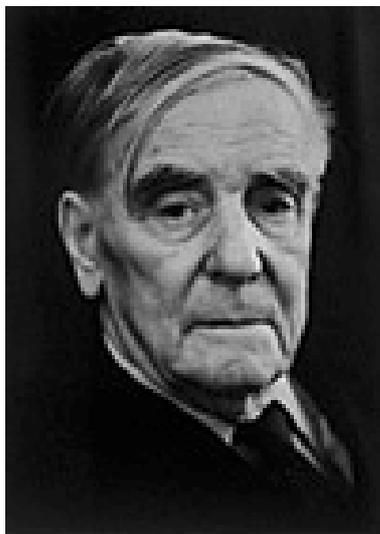
Sébastien Balibar

Laboratoire de Physique Statistique de l'Ecole Normale Supérieure

associé au CNRS et aux Universités Paris 6 & 7

24 rue Lhomond 75231 Paris Cedex 05

Beaucoup de gens attribuent la découverte expérimentale de la superfluidité à Piotr Kapitza, et la théorie de la même superfluidité à Lev Landau. C'est sans doute parce que l'un et l'autre ont obtenu le prix Nobel. Je ne conteste nullement que Kapitza et surtout Landau soient des géants de la Physique. Mais il se trouve que cet été, à l'occasion des conférences de l'Université de Tous Les Savoirs¹, je me suis un peu replongé dans l'histoire de cette découverte. Or je ressens comme une impression d'injustice en lisant de nombreux articles qui ignorent les autres acteurs de l'époque. Il me semble donc utile de revenir 65 ans en arrière, et de relire la revue Nature. Ce n'est pas allé pour moi sans quelques surprises et cela amène à se poser une question fondamentale: quel lien existe-t-il entre superfluidité et condensation de Bose-Einstein?



Piotr L. Kapitza (1894-1984) et Lev D. Landau (1908-1968)

La découverte expérimentale: 1938, 1937 ou avant ?

Dans son numéro du 8 janvier 1938 (volume 141), Nature publia deux articles côte à côte. Le premier, page 74, "Viscosity of liquid helium below the λ -point" avait été envoyé le 3 décembre 1937 par P. Kapitza, Institute for Physical Problems, Moscow. Le second, page 75, "Flow of liquid helium II", l'avait été le 22 décembre 1937 par J.F.Allen et A.D. Misener (à ne pas confondre avec le Meissner de la supraconductivité), Royal Society Mond Laboratory,

Cambridge. Pour qui ne serait pas familier avec le jargon de l'hélium, je rappelle que le "point lambda" est la température $T_\lambda = 2.17\text{K}$ à laquelle l'hélium liquide passe de normal à superfluide. Autour de cette température, Willem Keesom avait montré, à Leiden en 1927, que la chaleur spécifique de l'hélium liquide présentait un pic de variation en forme de lettre grecque lambda. Keesom avait ensuite appelé "helium I" l'hélium liquide au dessus de ce point lambda, et "helium II" celui d'en dessous, tant les propriétés de ces deux liquides semblaient différentes.



J.F. Allen, né en 1908, professeur émérite à l'Université de St Andrews (Ecosse), et A.D. Misener (? - 1996) à l'époque (1957) où il dirigeait le Département de Physique de l'Université de Toronto..

En décembre 1937, Kapitza cherchait à comprendre pourquoi, six mois plus tôt à Cambridge, J.F.Allen, R.Peierls et M.Z.Uddin avaient trouvé que l'hélium conduisait si bien la chaleur en dessous du "point lambda". Il eut l'idée que la convection dans ce liquide pouvait être très importante si sa viscosité était très faible. Il tenta donc de mesurer cette viscosité en observant l'écoulement du liquide à travers une fente d'environ 0.5 micron d'épaisseur. Il trouva qu'au dessus de T_λ l'hélium I coulait à peine, alors qu'en dessous l'hélium II coulait très facilement. Dans son article, où aucun résultat de mesure précis n'est donné, il affirme "*the pressure drop accross the gap was proportional to the square of the velocity of flow, which means that the flow must have been turbulent*". Il explique alors que s'il suppose que l'écoulement est laminaire il trouve une borne supérieure de 10^{-9} cgs pour la viscosité, une valeur particulièrement faible. Suivent quelques lignes célèbres où Kapitza propose avec beaucoup d'intuition "*by analogy with superconductors, that the helium below the λ -point enters a special state which might be called superfluid*".

L'article d'Allen et Misener commence ainsi: "*A survey of the various properties of liquid helium II has prompted us to investigate its viscosity more carefully. One of us¹ had previously deduced an upper limit of 10^{-5} cgs 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*". Entre le 3 et le 22 décembre 1937, Allen et Misener

avaient donc appris l'arrivée de l'article de Kapitza. J'y reviendrai. Quoi qu'il en soit, ce premier paragraphe accorde donc, apparemment, une certaine priorité à Kapitza. Je souhaite pourtant le contester. Ce n'est pas tellement qu'il s'agisse de 19 jours seulement. Lisons l'article. Allen et Misener ont fait de vraies mesures précises de vitesse et de pression aux bornes de différents capillaires, lesquelles me semblent irréalisables en 19 jours. Ils en ont tiré trois conclusions essentielles:

- 1- l'hélium II coule beaucoup plus vite que l'hélium I
- 2- la vitesse d'écoulement de l'hélium II est pratiquement indépendante de la pression aux bornes du capillaire
- 3- cette vitesse semble aussi indépendante de la section du capillaire qu'ils ont pourtant fait varier d'un facteur 1000.

Ce comportement ne correspondant à aucune formule connue, ils ont affirmé fort justement qu'il était impossible d'en déduire une valeur de la viscosité. Ils avaient raison. Ils se heurtaient à tout le problème de l'existence d'une vitesse critique au delà de laquelle la superfluidité est détruite. La loi quadratique évoquée sans données expérimentales par Kapitza n'a jamais été confirmée par la suite, et ne prouve d'ailleurs pas que l'écoulement aurait été turbulent. Au contraire, l'expérience d'Allen et Misener me paraît fondamentale car c'est la première mise en évidence d'une hydrodynamique non-conventionnelle des superfluides.

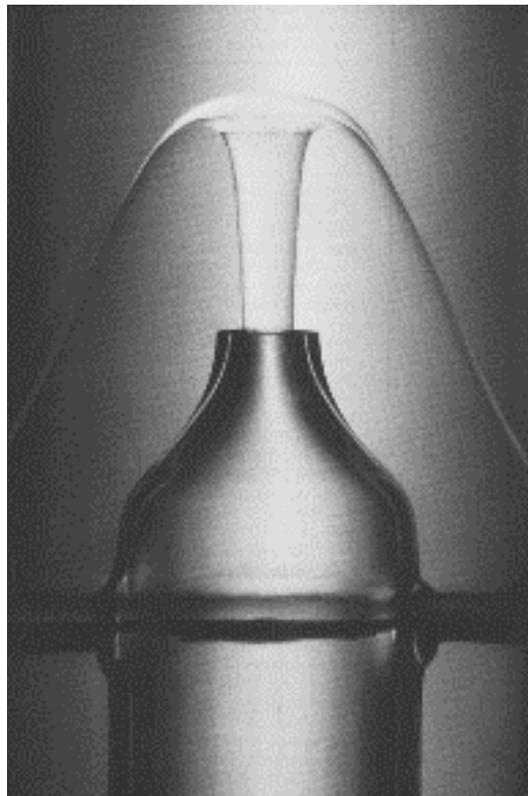
Un détail de cet article mérite quelques commentaires, la référence 1, après "one of us". Cette référence renvoie à E.F. Burton, Nature janvier 1935. Burton était le directeur du Département de Physique de Toronto où travaillait A.D. Misener. Il termine sa lettre à Nature par ces mots: "*This work was carried out by Messrs. Wilhelm, Misener and A.R.Clark.*". Wilhelm, Misener et Clark avaient effectivement tenté de mesurer la viscosité de l'hélium liquide au voisinage du point lambda en observant l'amortissement d'un pendule de torsion (un cylindre oscillant). Reprise et améliorée par Andronikashvili, Reppy et beaucoup d'autres, cette méthode devait connaître un riche avenir. En 1935, époque où toute expérience sur l'hélium liquide commençait par la nécessité de liquéfier soi-même l'hélium à étudier, J.O.Wilhelm A.D.Misener et A.R.Clark ont démontré que l'amortissement de leur pendule disparaissait dans l'hélium II, comme si la viscosité de l'hélium s'effondrait brusquement en dessous du point lambda.

Ma première surprise fut donc de constater qu'en somme, l'existence d'une fluidité anormale avait été découverte à Toronto, trois ans avant Kapitza et Allen, ce que tout le monde des basses températures semble avoir complètement oublié. Ma deuxième surprise concerne bien sûr les signatures et les citations. Quel étudiant accepterait aujourd'hui que le directeur de son Département publie ses résultats avant lui, sous forme d'une lettre à Nature dont il ne serait même pas co-signataire? Wilhelm, Misener et Clark ayant publié le détail de leurs travaux six mois plus tard, cette fois sans Burton et aux Proceedings de la Royal Society, je me suis demandé quel type de relations ces quatre chercheurs pouvaient avoir entre eux. Là où je dois avouer ma perplexité, c'est quand je constate que Misener, au lieu de citer son propre article, cite celui de Burton...

Revenons à Allen et Misener. C'est Allen qui avait dû attirer Misener pour continuer sa thèse à Cambridge. Ils s'étaient peut-être connus à Toronto puisque Allen, qui est canadien d'origine, y avait fait une thèse sur la supraconductivité au début des années 30. Et j'imagine volontiers que Misener est arrivé à Cambridge avec le désir d'approfondir ce qu'il commençait à entrevoir de la superfluidité. D'autant qu'Allen venait de confirmer, en juin 37 avec Peierls et Uddin, ce qu'avaient découvert Willem Keesom et sa fille Annia, à Leiden cette fois, et en

1936, à savoir que la conductivité thermique de cet étrange liquide était anormalement grande. Au delà de l'anecdote des signatures, il me semble que la contribution du groupe de Toronto, en particulier celle de Don Misener, est injustement ignorée aujourd'hui. Misener a joué un rôle important dans la physique canadienne, jusqu'à sa mort en 1996.

Willem Keesom, qui avait découvert l'existence d'une singularité de chaleur spécifique, puis l'existence de deux helium liquides différents de part et d'autre de cette singularité, n'est-il pas insuffisamment cité lui aussi ? Cherchant à en savoir davantage, j'ai même découvert un paragraphe dans un article de 1930 (W.H.Keesom et J.N. van den Ende, Proc. Roy. Acad. Amsterdam, 33, 24, 1930) où il est expliqué que la moindre microfuite étanche à l'hélium I laisse passer très facilement l'hélium II. De là à attribuer la découverte de la superfluidité à Keesom... Je tiens à préciser que ces événements se situent avant la théorie de Landau des transitions de phases (1937), et je ne suis pas certain que tout le monde comprenait à l'époque qu'une singularité de chaleur spécifique signifiait l'existence d'une transition entre deux états stables et distincts de la matière. J'insiste néanmoins sur ce que pouvait avoir de surprenant le fait de découvrir qu'un liquide pur, fait de petits atomes ronds, sans propriété chimique ni magnétique, pouvait présenter deux états liquides aussi différents.



L'effet fontaine, tel qu' Allen le photographia en 1971

Mais je souhaite surtout insister sur le rôle de J.F. Allen. Que s'est-il passé, en effet, après janvier 1938? Dans le même numéro 141 de Nature, le 5 février 1938 soit 4 semaines plus tard, Allen publia un autre article. Avec Harry Jones cette fois, Allen venait en effet de découvrir que chauffer de l'hélium "superfluide" d'un côté d'un capillaire augmentait la pression locale au point de faire monter le niveau et même jaillir une fontaine. Telle que se présentait l'expérience, le niveau de liquide dans la partie chauffée aurait dû descendre s'il s'était agi d'un liquide classique, simplement parce que la pression de vapeur saturante

augmente avec la température. Observer l'inverse plongeait Allen et Jones dans d'inextricables conjectures sur la nature de ce liquide. Ils se demandaient s'il pouvait s'agir d'une sorte de supersolide, envahi de lacunes mobiles, comme l'avaient proposé deux théoriciens de l'époque, H. Fröhlich et Fritz London. Cette idée n'était pas bonne, mais c'est bien la découverte de l'"effet fontaine" par Allen et Jones, qui, en démontrant à quel point l'hélium superfluide ne pouvait être un liquide classique, a forcé les théoriciens à chercher une interprétation radicalement différente pour ce nouvel état de la matière.

London, Tisza, Bose et Einstein

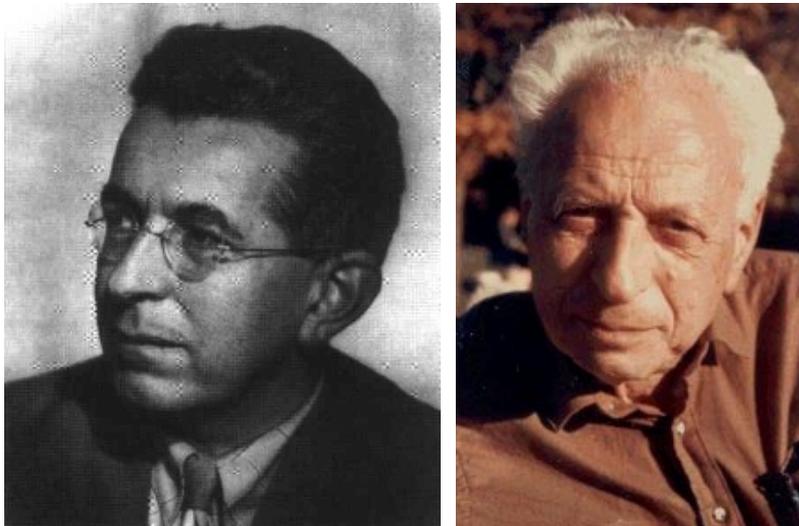
Dès le 5 mars, Fritz London devait à la fois rejeter l'idée d'un supersolide et proposer une interprétation révolutionnaire, dans un article intitulé "The λ -phenomenon of liquid helium and the Bose-Einstein degeneracy", publié par Nature, numéro 141 toujours, le 9 avril. En proposant de relier la superfluidité de l'hélium à la condensation de Bose-Einstein de ses atomes, non seulement London a vu juste mais il a aussi donné du travail aux physiciens pour 60 ans. Car ce lien est subtil. Landau l'a nié, au moins ignoré. Il faudra attendre les travaux de Bogoliubov (1947) puis ceux de Penrose (1951), Feynman (1953-54), Penrose et Onsager (1956) et bien d'autres pour qu'on comprenne comment étendre à un liquide l'idée d'Einstein sur la condensation d'un gaz de Bose. A mon avis, c'est bien cette difficulté, signalée par London lui-même dès 1938, qui a lancé les physiciens à la recherche d'un superfluide gazeux où l'on pourrait tout calculer donc tout comprendre. Or cette véritable quête du Graal vient seulement d'aboutir. La découverte de la condensation de Bose-Einstein de différentes vapeurs alcalines² (Rubidium, Sodium, Lithium) en 1995, suivie en 1998 par celle de l'hydrogène atomique³, et surtout par la mise en évidence de la superfluidité de ces vapeurs⁴ devraient bientôt clore ce long chapitre, d'autant que le calcul de la variation de la température de transition en fonction de l'intensité des interactions est fait⁵ et que sa vérification expérimentale est en bonne voie⁶.

London avait compris que les fluctuations quantiques étaient importantes dans l'hélium liquide, puis il a remarqué que la température à laquelle un gaz quantique de même densité que l'hélium liquide devrait se condenser (au sens d'Einstein) était à peu près la même que le point lambda (3.1K au lieu de 2.2). Démontrant ensuite sa compréhension des transitions de phases, il a expliqué que la singularité de chaleur spécifique observée par Keesom ressemblait, sans lui être toutefois identique, à celle prévue pour la condensation de Bose-Einstein, la première indiquant une transition du second ordre (c'est-à-dire une discontinuité de la chaleur spécifique, d'après la classification d'Ehrenfest) alors que la seconde est prévue du troisième (discontinuité de la dérivée de la chaleur spécifique). Tout cela est admis par tout le monde aujourd'hui.

Comme on le sait peut-être aussi, l'un des grands mérites de London fut de relier à la réalité une idée à laquelle Einstein lui-même ne croyait pas beaucoup. "Die Theorie ist hübsch, aber ob auch was Wahres dran ist?" (La théorie est jolie, mais y a-t-il aussi de la vérité là dedans?) écrivait-il à Ehrenfest le 29 novembre 1924, après avoir appliqué la statistique de Bose à un gaz de particules massives⁷. Il faut se rappeler une fois de plus à quel point la Physique statistique des transitions de phase était nouvelle pour l'époque. C'est bien ce qui ressort de l'examen de l'objection d'Uhlenbeck à Einstein. Dans sa thèse de doctorat (1927), Uhlenbeck refusait en effet de considérer la condensation de Bose-Einstein comme une transition de phase sous prétexte qu'il ne pouvait pas y avoir d'équilibre entre les deux phases (en effet, la transition n'est pas du premier ordre). Il ne retira son objection qu'en 1937 à la suite d'une vaste discussion incluant Ehrenfest et Kramers lors d'une conférence célébrant le centenaire de van der Waals à Amsterdam. London assistait à cette conférence, mais la condensation de Bose-Einstein ne fut pas explicitement évoquée. Il a donc eu du mérite d'invoquer cette

condensation pour expliquer la superfluidité, tant elle conservait la réputation de n'être qu'une pathologie de la théorie. On ne sait peut-être pas assez non plus que London avait ébauché une théorie de la supraconductivité dès 1935-37 à partir de l'hypothèse d'une "fonction d'onde macroscopique" et que ce travail influença fortement Bardeen, Cooper et Schrieffer lorsqu'ils établirent la "théorie BCS" beaucoup plus tard. La percée conceptuelle réussie par Fritz London me semble donc capitale.

Revenons au numéro 141 de Nature dont la lecture n'est pas terminée. Le 21 mai, en effet, paraît encore un autre article, signé cette fois Laszlo Tisza, Collège de France, Paris, April 16. La cadence à laquelle tous ces articles sont parus est étonnante. La compétition était vive, et les délais de publications rapides. Pourtant, on a du mal à imaginer que les communications aient été faciles à une époque pareille. Tisza était de passage à Paris, comme London. Né à Budapest, Tisza avait suivi les cours de Max Born à Göttingen puis travaillé sous la direction de Heisenberg et Teller à Leipzig avant de rejoindre Landau en 1935 pour un séjour post-doctoral à Kharkov (où il travailla sur la thermodynamique et les transitions de phases). En 1937, il était arrivé à Paris comme visiteur au Collège de France, à l'invitation de Paul Langevin et avec l'aide du "Comité français pour l'accueil et l'organisation du travail des savants étrangers". A Paris, il avait naturellement rencontré un autre étranger en transit vers les Etats Unis, Fritz London. Né à Breslau (Wroclaw) en 1900, London fuyait l'Allemagne nazie où il avait fait ses études et travaillé avec Schrödinger. Il devait accepter un poste de professeur à Duke en 1939. Tisza ne devait rejoindre le MIT qu'en 1941 (par quels moyens ?). Au même moment, j'y reviendrai, Staline emprisonnait Landau.



Fritz London (1900-1954) et Laszlo Tisza, né en 1907, professeur émérite au MIT

Dès mars 1938, Tisza reprit l'idée de London pour en tirer plusieurs conséquences essentielles. Distinguant en effet la fraction d'atomes condensés au sens d'Einstein de la fraction d'atomes non-condensés qui occupent des états quantiques excités, il a jeté les bases d'un "modèle à deux fluides" qui lui a permis d'introduire deux champs de vitesse indépendants dans un superfluide, et d'expliquer pourquoi la viscosité mesurée dépend du

type d'expérience que l'on effectue. Il a ainsi résolu l'apparente contradiction qui existait entre l'expérience de Toronto et celles de Cambridge et Moscou. Il a ensuite prédit que dans un capillaire l'écoulement a lieu sans dissipation et doit être accompagné d'un refroidissement. Il a enfin compris que l'effet fontaine d'Allen et Jones est un effet thermomécanique inverse, la pression augmentant à cause du mouvement du superfluide du froid vers le chaud. Avant de partir au MIT, dans plusieurs articles publiés aux Comptes Rendus de l'Académie des sciences (C.R.207, 1035 et 1186, 1938) puis au Journal de Physique (J. Phys. et Rad. 1, 164 et 350, 1940) en français (est-ce pour cela qu'ils ont été ignorés ? Pourtant Landau savait le français), Tisza devait développer une théorie quantitative à partir de ces idées. Cette théorie est en partie fautive mais aboutit à une autre prédiction à la fois juste et remarquable: l'existence d'ondes de température dans un superfluide. London avait donc compris pourquoi l'hélium superfluide est un fluide quantique. Tisza en avait déduit des propriétés hydrodynamiques et thermiques très particulières, certaines déjà observées, d'autres qui allaient l'être.

Landau et Kapitza

J'en arrive enfin à Landau. Landau avait été invité par Kapitza à le rejoindre à Moscou (le 16 mars 1937) puis arrêté par le NKVD sous prétexte d'espionnage (en avril 1938). Il ne devait jamais être jugé et croupir en prison pendant un an, jusqu'à ce que Kapitza obtienne sa libération de Molotov, après une tentative sans succès auprès de Staline⁸. Kapitza avait fait sa thèse à Cambridge, sous la direction de Rutherford. Grâce à la généreuse donation d'un certain Ludwig Mond, la Royal Society lui avait construit le "Mond laboratory". Il avait l'habitude de retourner à Moscou tous les étés, et en 1934 on fêtait le centenaire de Mendeleiev, mais cette année-là on l'empêcha de repartir. Staline avait besoin de lui pour industrialiser l'URSS. On fit construire l'Institut des Problèmes Physiques où Kapitza put heureusement redémarrer rapidement ses recherches. D'une part Rutherford obtint du gouvernement anglais que le matériel de Kapitza (sauf son liquéfacteur d'hélium) soit vendu à l'Union Soviétique, d'autre part Kapitza réussit à faire venir à Moscou pour trois ans un de ses étudiants (David Schönberg, futur directeur du Mond Laboratory de Cambridge) et les deux techniciens qui l'aidaient à liquéfier l'hélium à Cambridge (Laurman et Pearson). Kapitza était donc loin d'être n'importe qui aux yeux de Staline. D'ailleurs c'est bien grâce à cela qu'il réussit à faire libérer le jeune théoricien Fok. Mais Kapitza était retenu de force en URSS, et lorsqu'il proposa sa propre liberté comme garantie de la libération de Landau, comme il dut le faire en avril 1939, il fit preuve d'un indéniable courage. On notera au passage que J.F.Allen avait donc construit ses propres expériences dans l'ancien laboratoire de Kapitza à Cambridge. J'ai cherché à savoir si Allen et Kapitza avaient eu des échanges directs à cette époque. D'après David Schönberg, aucun contact direct n'a pu avoir lieu dans toute la période cruciale de cette histoire (1937-1938). Il m'a aussi expliqué qu'Allen avait lu l'article de Kapitza parce que celui-ci avait demandé à son ancien camarade d'étude chez Rutherford, John Cockroft, de s'occuper de la correction des épreuves. Cockroft, qui devait obtenir le prix Nobel en 1951, avait pris la suite de Kapitza comme directeur du Mond Laboratory. Voyant que Kapitza publiait des résultats semblables à ceux qu'Allen et Misener avaient obtenus, il leur a simplement demandé de publier rapidement eux-aussi.

A sa sortie de prison, Landau a clairement fait franchir un pas décisif à la théorie de la superfluidité. Son article⁹ de 1941 relie la superfluidité de l'hélium à un modèle à deux fluides beaucoup plus rigoureux que celui de Tisza. Il a le grand mérite d'introduire la notion d'excitation élémentaire puis celle de vitesse critique au delà de laquelle la superfluidité est détruite. Ses équations de l'hydrodynamique "à deux fluides" sont toujours celles qu'on utilise aujourd'hui. Est sous-entendue dans cet article l'idée fondamentale que dans un superfluide les excitations individuelles disparaissent au profit d'excitations collectives quantifiées, même s'il

se trompe sur leur nature en désignant sous le nom de "rotons" ce qu'il croit être des tourbillons quantiques élémentaires.

Bien que cet article n'explique pas tout, loin de là, c'est l'une des bases théoriques de ce domaine de la physique. Il m'inspire cependant quelques remarques critiques. La principale c'est que Landau ignore complètement le travail de Fritz London. Il trouve même le moyen d'attribuer à Tisza l'idée d'un lien entre superfluidité et condensation de Bose-Einstein avant d'écrire *"the explanation advanced by Tisza not only has no foundations in his suggestions but is in direct contradiction to them"* (sic). Huit ans plus tard, Landau devait écrire¹⁰ :

"I am glad to pay tribute to L.Tisza for introducing, as early as 1938, the conception of the macroscopic description of helium II by dividing its density into two parts and introducing, correspondingly, two velocity fields. This made it possible to predict two kinds of sound waves in helium II. Tisza's detailed paper (J.Phys. et rad. 1, 165 and 350, 1940) was not available in USSR until 1943 owing to war conditions, and I regret having missed seeing his previous short letters (Compte Rendus 207, 1035 and 1186, 1938). However, his entire quantitative theory (microscopic as well as thermodynamic-hydrodynamic) is in my opinion entirely incorrect."

De nombreux physiciens ont écrit que Landau a introduit son modèle à deux fluides "indépendamment" de Tisza, par exemple A.J. Leggett¹¹. C'est clairement faux, et la présentation de P.Nozières¹² est beaucoup plus fidèle à la réalité. Lorsque Landau arrive à l'expression quantitative de l'amplitude de l'effet fontaine (équation 6.4), il écrit même *"the formulae 6.1 and 6.4 were deduced already by H.London (Proc. Roy. Soc. 1939) starting from Tisza's ideas"*. Heinz London était le frère de Fritz London. Les deux London avaient approfondi ensemble le lien entre superfluidité et condensation de Bose-Einstein. Donc Landau n'ignorait pas les idées de Tisza, il les a reprises en les corrigeant. Quant à l'absence totale de Fritz London de cet article, où le modèle phénoménologique est construit sans aucune relation avec la condensation de Bose-Einstein, c'est pour moi comme pour d'autres commentateurs un mystère surprenant. Clairement, Landau a délibérément ignoré Fritz London. Ironie incroyable de l'histoire, Landau s'est pourtant vu attribuer en 1960 le "London award", c'est-à-dire le grand prix international de physique des basses températures qui avait été fondé à la mémoire de London ! Il faudrait vraiment que le travail d'histoire des sciences entamé¹³ sur ce sujet soit poursuivi, afin de mieux nous expliquer pourquoi Landau n'a jamais accepté l'idée que la justification théorique de son modèle à deux fluides puisse être la condensation de Bose-Einstein, ce que tout le monde admet pourtant aujourd'hui. Lorsque Landau a publié son article, London Tisza et beaucoup d'autres ont remarqué à juste titre que si la superfluidité était bien liée à la condensation de Bose-Einstein alors l'hélium 3 devait avoir un comportement très différent de l'hélium 4, puisque l'isotope léger de l'hélium est un Fermion, pas un Boson. Ils avaient raison. On devine leur joie lorsque ceci fut vérifié à la fin des années 40.

Landau a obtenu le prix Nobel 1962 pour l'ensemble de ses travaux sur les fluides quantiques (en particulier sa théorie de la superfluidité mais aussi celle des "liquides de Fermi") et les transitions de phases. Quant à Kapitza, il devait l'obtenir beaucoup plus tard, en 1978, pour sa découverte expérimentale de la superfluidité, mais aussi pour ses travaux en magnétisme, en physique des micro-ondes et des plasmas. Il me semble que le comité Nobel a au moins oublié London et Allen. Fritz London est mort d'une crise cardiaque en 1954. Peut-on imaginer que s'il avait été encore vivant en 1962 il aurait partagé ce prix avec Landau? Quant à Jack Allen, je souhaite avancer une hypothèse, au risque de me voir contredire. Je ne crois pas à l'argument des 19 jours, quoi qu'en pense Andronikashvili dont le livre¹⁴ est plein d'anecdotes mais un peu partial. Je crois davantage à l'influence de Landau, dont l'article de 1941

commence ainsi: *"Liquid helium is known to possess a number of peculiar properties...Of these properties the most important one is superfluidity discovered by P.L.Kapitza."* Dans cet article, Landau a ignoré non seulement London mais aussi Allen, pourtant abondamment cité par Kapitza. Même lorsque Landau traite de l'effet fontaine, Landau réfère aux travaux ultérieurs de Kapitza, pas à la découverte d'Allen et Jones. Une grande partie de l'école russe (Lifshitz, Khalatnikov, Pitaevskii ...) a repris l'attitude de son maître, ignorant systématiquement les travaux d'Allen. C'est un peu difficile à accepter. Certes, Landau devait la vie à Kapitza. Certes il a été jeté en prison à un moment crucial de cette histoire. Mais son article prouve qu'il était parfaitement au courant des travaux de London et d'Allen.

Tisza pour conclure

Après une telle critique d'un géant de la Physique aussi respecté que Landau, je devrais certainement prendre garde à n'oublier personne moi-même. Ce n'est pas facile. Ont étudié la superfluidité, dès 1938, de nombreux autres grands physiciens, par exemple Simon, Rollin, Kürti, Daunt, Mendelssohn et bien d'autres. Je voudrais juste revenir sur le cas de Laszlo Tisza avant de conclure. Tisza est professeur émérite au MIT. J'ai trouvé son adresse électronique sur le réseau et, le 23 août dernier, je lui ai demandé son avis sur Toronto et J.F.Allen, puis *"how much did Landau know about your work on the two fluids model? How do you consider your respective contributions (yours and Landau's)?"*

Tisza m'a répondu le 4 septembre:

"To be frank, I have been seldom asked to explain the relation of my work to Landau's. ... the Toronto measurements did not anticipate the experiments of Kapitza and of Allen and Misener, their finding of a small but finite viscosity was inconsistent with the superfluid capillary flow. The latter was discovered in 1938 to universal surprise. The novelty of the effect became strikingly apparent in the Allen and Jones fountain effect that started London and myself on our speculative spree. ... You ask "how much did Landau know about all this?" E.M. Lifshitz visited at MIT around 1970. He told me that they were at first familiar only with my Nature note that they did not take seriously. They were rather impressed by the 1939 papers received very late in the game... I have no doubt that Landau's "second sound" was independent of my "temperature wave". ... Landau dismissed my note and proceeded his own way...". C'est assez généreux de sa part.

Tisza m'a aussi envoyé le texte d'une conférence qu'il a prononcée à l'occasion du centenaire de la Société Hongoise de Physique, en octobre 1991. Il y explique que *"London framed the concept of "condensation in momentum space" et, plus loin, que le même London "persisted in his opposition to the idea that two velocity fields could persist in a liquid"* (une conséquence essentielle du modèle à deux fluides que Tisza lui proposait), enfin qu'en 1946, lorsque Peshkov découvrit les ondes de température¹⁵ prévues par Tisza et par Landau, London *"suggested that Peshkov's measurements do not differentiate between Landau and myself (i.e. Tisza)"*, ce qui était vrai des premières mesures de Peshkov, mais la suite devait donner raison à Landau. En conclusion de cette conférence, Tisza écrit: *"If history has a lesson, it is that the "winner take all" attitude deprives one of the pleasure of being the heir to the best of different traditions, even while avoiding their intolerance against each other. London, in his Superfluids Vol. II, made real strides toward such a synthesis, the book is a labor of love"¹⁶.*

En somme, London a souffert d'une tendance générale à ne retenir qu'un seul héros des grandes batailles historiques, et Tisza s'est retrouvé coincé entre deux conceptions opposées de la superfluidité qui ont mis des décennies à se réunir. A mon avis, l'exceptionnelle durée de

la controverse provient du fait que condensation de Bose-Einstein et superfluidité sont des phénomènes très proches mais pas strictement identiques. Aujourd'hui, l'étude de certains superfluides ou supraconducteurs uni- ou bi-dimensionnels illustre les limites du lien entre ces deux phénomènes. Essayons de mettre les choses au point. Un gaz idéal condensé de Bose-Einstein n'est pas superfluide, mais c'est un cas limite que j'ai tendance à considérer comme un superfluide de vitesse critique nulle. En revanche, il existe des superfluides (et des supraconducteurs) à deux dimensions, des films minces, qui ne sont pas condensés de Bose-Einstein puisque cette condensation n'existe qu'en trois dimensions. C'est plus troublant. Il me semble que la superfluidité à deux dimensions provient des corrélations dans l'espace des vitesses qui existent dans de tels films quantiques même si elles ne sont pas aussi fortes que dans un système condensé à trois dimensions. En somme, la superfluidité exige la condensation de Bose-Einstein... ou presque. C'est ma compréhension actuelle d'un sujet de recherches qui n'est pas tout à fait terminé. J'espère donc que ce retour historique peut non seulement rendre justice à Allen, Misener, Keesom, London et Tisza, mais aussi amener les physiciens de ce domaine à préciser ce qu'est cet état de la matière surprenant, qui a tenu en haleine notre communauté pendant presque tout le vingtième siècle.

Références

- 1- S. Balibar, "La superfluidité" in Université de Tous les Savoirs, vol.4, édité par Y.Michaud (Odile Jacob, Paris 2001).
- 2-M.H.Anderson, J.R.Ensher, M.R.Matthews, C.E.Wieman, E.A.Cornell, Science 269, 198 (1995); K.B.Davis, M.O.Mewes, M.R.Andrews, N.J. van Druten, D.S.Durfee, D.M. Kern, W. Ketterlee, Phys. Rev. Lett. 75, 3969 (1995); C.C. Bradley, C.A.Sackett, J.J.Tollett, R.G.Hulet, Phys. Rev. Lett. 75 (1687).
- 3- D.G.Fried, T.C.Killian, L.Willmann, D.Landhuis, S.C.Moss, D.Kleppner, T.J. Greytak, Phys.Rev. Lett. 81, 3811 (1998).
- 4- C. Raman, M. Köhl, R. Onofrio, D.S. Durfee, C.E. Kuklewicz, Z. Hadzibabic, W. Ketterlee, Phys. Rev. Lett. 83, 2502 (1999); K. Madison, F. Chevy, W. Wohlleben and J. Dalibard, Phys. Rev. Lett. 84, 806 (2000).
- 5- P.Grüter, D.Ceperley and F.Laloë, Phys. Rev. Lett. 79, 3549 (1997)
- 6- J.D. Reppy, B.C. Crooker, B. Hebral, A.D. Corwin, J. He and G.M. Zassenhaus, Phys. Rev. Lett. 84, 2060 (2000).
- 7- A. Pais, Subtle is the Lord, p.432, Oxford University Press
- 8- L.P. Pitaevskii, "50 Years of Landau's theory of superfluidity", J. Low Temp. Phys. 87, 127 (1992).
- 9- L.D. Landau, J. Phys USSR 5, 71 (1941), Collected Papers p. 301, ed. by D. Ter Haar (Pergamon Press 1965). Voir aussi l'article de 1947 page 466.
- 10- L.D. Landau, Phys Rev. 75, 884, 1949.
- 11- A.J. Leggett, "Superfluidity", Rev. Mod. Phys. 71, S318 (1999)
- 12- P. Nozières and D. Pines, The theory of quantum liquids II, Perseus Books, Cambridge 1999.

13- A. Griffin, "A brief history of our understanding of BEC: from Bose to Beliaev", Comptes-rendus de l'"Enrico Fermi Summer School", CXL, Varenna, Italy, (IOS Amsterdam 1999).

K. Gavroglu, Fritz London: a scientific biography, Cambridge University Press, Cambridge 1995;

E. Jurkowitz, "Interpreting Superconductivity: the history of quantum theory and the theory of superconductivity and superfluidity, 1933-1957", PhD. thesis, University of Toronto, 1996.

14- F.L. Andronikashvili, Reflections on liquid helium, American Institute of Physics, New York, 1989.

15- V.P.Peshkov, Sov. Phys. JETP 10, 389 (1946).

16- F. London, Superfluids I and II, Wiley, New York, 1950 and 1954.