HAL
open science

Mesure des basses températures

L. Cailletet, E. Colardeau

To cite this version:

L. Cailletet, E. Colardeau. Mesure des basses températures. J. Phys. Theor. Appl., 1888, 7 (1), pp.286-291. 10.1051/jphystap:018880070028600 . jpa-00238839

HAL Id: jpa-00238839

https://hal.science/jpa-00238839

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MESURE DES BASSES TEMPÉRATURES;

PAR MM. L. CAILLETET ET E. COLARDEAU.

Si l'on pouvait disposer, comme corps thermométrique, d'un gaz réalisant cet état idéal que les physiciens nomment *état parfait,* les indications d'un thermomètre construit avec ce gaz seraient en parfaite concordance avec cette échelle de températures que les principes de la Thermodynamique ont permis de concevoir, et qui a reçu le nom d'*échelle des températures absolues.*

Parmi les gaz, l'hydrogène réalise, d'une manière presque rigoureuse, cet état parfait, du moins dans les conditions ordinaires de température et de pression, et il ne fait que s'en rapprocher davantage à mesure que la température s'élève.

Mais le thermomètre à hydrogène est toujours d'un maniement délicat. Les thermomètres à liquides, plus commodes en pratique, ne pourront donner des indications aussi valables que les siennes, qu'à la condition qu'on les aura gradués par comparaison directe avec lui.

Les divers physiciens qui se sont occupés de cette graduation l'ont surtout effectuée pour les températures élevées, et ils l'ont laissée presque entièrement de côté pour les basses températures. Les travaux réalisés depuis un certain nombre d'années sur la liquéfaction des gaz, en rendant possible la production de très grands froids, nous ont fait penser qu'il y aurait un intérêt véritable à combler cette lacune en apportant à la mesure des basses températures une méthode rationnelle et précise.

Mais une autre question se pose alors. L'hydrogène, en s'approchant de son point critique de liquéfaction, doit sans doute, comme tous les autres gaz, éprouver des modifications dans ses propriétés physiques : il doit perdre graduellement ses qualités de

---

l'indice 2 à la transformation effectuée en sens inverse. Or, les intégrales de signes contraires $\left(\int \frac{dQ}{T}\right)_1$ et $\left(\int \frac{dQ}{T}\right)_2$ ne peuvent être positives ni l'une ni l'autre : elles sont donc nulles $\left(\int \frac{dQ}{T} = 0\right)$. (*Note de la R.*)

Article published online by EDP Sciences and available at http://dx.doi.org/10.1051/jphystap:018880070028600

gaz parfait, qui constituent tout l'avantage de son emploi aux températures élevées.

Ses indications cessent alors de concorder avec l'échelle des températures absolues. Elles redeviennent arbitraires.

A quel moment la concordance cesse-t-elle d'être satisfaisante? Quelle est la limite inférieure jusqu'à laquelle on pourra compter sur le thermomètre à hydrogène? Des expériences basées sur le principe que nous allons indiquer nous semblent propres à fournir une solution de la question.

La dilatation d'un corps n'est pas le seul phénomène qui soit fonction de la température. On peut citer, dans cet ordre d'idées, les résistances électriques, la quantité de chaleur accumulée dans un corps, le moment magnétique d'un barreau aimanté, les indices de réfraction, le pouvoir rotatoire, les phénomènes thermo-électriques, etc.

Imaginons qu'une série d'appareils fondés sur ces propriétés se trouvent réunis, ainsi qu'un thermomètre à hydrogène, dans un même milieu. Notons, pour chacun d'eux, les indications I_1, I_2, I_3, ... qu'il donne, quand la température de l'enceinte prend les valeurs successives T_1, T_2, T_3, ... fournies par le thermomètre à hydrogène, dans les limites où ce gaz réalise, d'une façon suffisante, l'état parfait.

En traçant la courbe de ces résultats, nous obtenons la relation

$$I = f(T),$$

qui relie les indications de chacun d'eux à la température absolue, dans les limites de l'expérience.

Une fois cette relation établie, nous pourrons réciproquement nous en servir pour calculer la valeur de T, d'après l'indication correspondante I donnée par l'appareil. Mais il est clair que ce calcul n'aura de valeur qu'autant que T sera compris dans les limites entre lesquelles on aura effectué la graduation. Toute extrapolation un peu éloignée de ces limites sera dépourvue de certitude.

Admettons toutefois que cette extrapolation donne des résultats bien concordants pour tous les appareils mis en œuvre, ou du moins pour un grand nombre d'entre eux. Cette concordance même tendra à prouver que la courbe tracée pour chaque phénomène,

en fonction de la température absolue, continue à le représenter exactement lorsqu'on la prolonge au delà des limites de la graduation. Alors chaque extrapolation sera justifiée par son accord avec les autres, et cette justification sera d'autant meilleure que le nombre des appareils comparés sera plus grand et que leur construction sera basée sur des phénomènes plus dissemblables.

En abaissant peu à peu la température pour laquelle on réalisera cette comparaison, on pourra sans doute saisir le moment où l'hydrogène, assez rapproché de son point critique, cessera de donner une concordance suffisante. Ce sera le moment de renoncer à son emploi.

Il reste maintenant à soumettre la méthode au contrôle de l'expérience. Les appareils que nous avons choisis pour cet objet sont au nombre de cinq; ce sont :

Un thermomètre à hydrogène;
Une résistance électrique constituée par un fil de platine;
Deux pinces thermo-électriques;
Enfin un lingot de platine refroidi dans le milieu en expérience et servant à une mesure calorimétrique.

Thermomètre à hydrogène. — Cet appareil est un thermomètre à volume constant ([1]), employé depuis plusieurs années par l'un de nous, en particulier dans des recherches faites en collaboration avec M. Bouty sur la mesure des résistances électriques aux basses températures.

Résistance électrique. — Le fil de platine a un diamètre de $0^{mm},2$ et une longueur de 6^{m} environ. Il est enroulé en hélice sur un tube mince en ébonite, dans lequel pénètre librement le réservoir du thermomètre à hydrogène. Ses deux extrémités sont reliées à une boîte de résistances formant pont de Wheatstone : un galvanomètre apériodique Deprez-d'Arsonval permet de mesurer sans hésitation sa résistance à $\frac{1}{100}$ d'ohm près.

Pinces thermo-électriques. — Les avantages des pinces thermo-

---

([1]) *Comptes rendus de l'Academie des Sciences*, t. CVI, p. 155; 1888.

électriques, si connus depuis les travaux de M. E. Becquerel, nous engageaient à les employer comme appareils de mesures. L'une de ces pinces est le couple platine pur-platine rhodié employé par M. Le Chatelier pour la mesure des hautes températures. Cette pince se rapproche, aux basses températures, de son point neutre, ce qui a l'inconvénient de diminuer sa sensibilité. C'est pour cette raison que nous avons employé simultanément une pince d'une autre nature, s'éloignant, au contraire, de ce point neutre, par refroidissement. Le couple fer-cuivre satisfait à ces conditions.

Un commutateur permet d'intercaler à volonté le galvanomètre dans le circuit de chacune de ces pinces, ou dans le pont de Wheatstone.

Pour établir la relation qui relie la température à la résistance du fil et à la force électromotrice des pinces, on a plongé ces appareils dans des milieux à diverses températures parfaitement déterminées, qui sont :

1° Le point d'ébullition de l'eau à la pression $0^m,760$;

2° Le point de fusion de la glace;

3° Le point d'ébullition du chlorure de méthyle à la pression ordinaire.

L'échantillon de ce chlorure de méthyle que nous avons employé a donné, pour cette ébullition, le nombre $-23°,4$, évalué à l'aide d'un excellent thermomètre à mercure, soigneusement contrôlé au Bureau international des Poids et Mesures. Nous avons trouvé que les courbes de la résistance électrique et de la force électromotrice des pinces sont représentées, en fonction de la température, par les équations de forme connue :

Résistance électrique.....	$R_t = R_0 + 0,04379\,t - 0,0000109\,t^2$
Pince Le Chatelier.....	$E_t = 0,51048\,t - 0,001624\,t^2$ (1)
Pince fer-cuivre..	$E_t = 0,7935\,t - 0,001335\,t^2$.

Expérience calorimétrique. — Nous devons à l'obligeance de M. Violle, dans le laboratoire duquel nos expériences ont été faites,

(1) La seconde soudure des pinces est supposée maintenue dans la glace fondante.

un lingot de platine pur, du poids de 300gr. Ce lingot a la forme d'un prisme rectangulaire; il ne plonge pas directement dans le bain, mais il est renfermé dans un étui de cuivre mince, ouvert à l'une de ses extrémités. On bouche cette ouverture, pendant l'expérience, au moyen d'un tampon de coton destiné à empêcher le réchauffement par le renouvellement de l'air intérieur. On peut extraire le lingot de cet étui au moyen d'un fil de platine fixé à l'une de ses extrémités.

Quand ce système a séjourné assez longtemps dans le gaz liquéfié pour en avoir pris la température, on le transporte rapidement au-dessus d'un calorimètre Berthelot. Le lingot enlevé de l'étui est plongé dans le calorimètre, dont on suit la température à l'aide d'un thermomètre qui donne le centième de degré.

Les avantages de l'étui de cuivre mince sont faciles à saisir. Il empêche le lingot d'emporter avec lui dans le calorimètre le gaz liquéfié, il protège le métal contre le rayonnement pendant le transport, enfin il met obstacle à la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique.

Le calcul de la température du lingot se fait facilement par l'application de la formule donnée par M. Violle pour résumer l'étude calorimétrique du platine entre 0° et 1700°.

Résultats des expériences. — Nos premières expériences, portant sur le protoxyde d'azote, ont été effectuées avant l'installation complète des pinces thermo-électriques. Elles ne comportent donc que l'emploi de trois de nos appareils. Les expériences suivantes, faites avec l'éthylène liquide, nous ont fourni les résultats de la comparaison des cinq appareils.

Nous résumons ces résultats dans le Tableau suivant :

	Température d'ébullition sous la pression atmosphérique.	
	Protoxyde d'azote.	Éthylène.
Thermomètre à hydrogène.....	— 88°,8	— 102°,4
Résistance électrique.....	— 88,7	— 102,6
Expérience calorimétrique.....	— 88,9	— 102,0
Pince platine-platine rhodié.....	»	— 102,1
Pince fer-cuivre.....	»	— 102,9

Les nombres ainsi obtenus présentent, comme on le voit, une concordance aussi satisfaisante qu'on peut l'espérer dans des expériences de ce genre. La conclusion de ces résultats doit donc être que l'hydrogène continue à être à un gaz parfait jusqu'à — 100°.

Il nous a paru intéressant d'examiner en même temps quelles indications donne, dans ces liquides à basse température, un thermomètre à alcool gradué par la méthode ordinaire. Les points fixes de ce thermomètre ont été obtenus dans la glace fondante et dans l'eau à + 30°. Cet intervalle a été divisé en parties égales, et la graduation a été prolongée. Dans ces conditions, l'appareil marque seulement — 89°,5 dans l'éthylène bouillant à la pression de l'atmosphère : c'est une différence d'environ 13° avec les nombres mentionnés ci-dessus.

En 1885, M. Wroblewski avait comparé les indications d'un thermomètre à hydrogène à celles d'une pince thermo-électrique maillechort-cuivre (1), et il avait trouvé une concordance satisfaisante jusqu'à des températures voisines de — 190°, mais la comparaison n'avait porté que sur un seul appareil, ce qui est insuffisant pour éliminer complètement l'effet du hasard.

De plus, elle n'avait eu lieu, en réalité, que sur une étendue de 60°, car, dans la graduation de la pince, M. Wroblewski avait admis, *a priori,* que le thermomètre à hydrogène continue à donner des indications valables au voisinage de — 100° (éthylène liquide) et même de — 130°. Il était essentiel de mettre ce point hors de doute.

C'était le but de nos premières expériences.

Nous nous proposons de continuer ces recherches à l'aide de gaz liquéfiés bouillant à de plus basses températures.

En terminant, nous adressons nos remerciements à M. Violle, ainsi qu'à MM. Carpentier et Ducretet, pour l'obligeance qu'ils ont mise à nous faciliter l'exécution de ce Travail.

---

(1) *Sitzungsberichte der Kais. Academie Wien* (mars 1885).