

Cow

L'ECHELLE INTERNATIONALE PRATIQUE DE TEMPERATURE DE 1968
ET L'OCEANOGRAPHIE *

par

Georges GIRARD

Bureau International des Poids et Mesures

R é s u m é

Il est important lorsque l'on fait des mesures de déterminer, avec une unité bien définie, la température à laquelle on travaille. De longs travaux ont abouti récemment à une Echelle pratique de température très proche de l'Echelle thermodynamique absolue. Après un bref historique on donne quelques détails sur cette Echelle Internationale Pratique de Température de 1968, plus particulièrement dans le domaine de températures intéressant les océanographes. Entre 0 et 30°C, les températures exprimées dans cette nouvelle échelle sont plus basses que dans la précédente (E.I.P.T. de 1948 amendée en 1960) d'une quantité variant entre 0 et 9 mK.

La notion de température est une notion simple et à la portée de tous. Si l'on veut évaluer cette grandeur, et qui plus est avec précision, on se heurte à de nombreuses difficultés.

La température intervient dans toutes les mesures, dans toutes les recherches, aussi bien en océanographie que dans toute discipline scientifique.

Lorsque l'on veut déterminer une propriété quelconque de l'eau de mer, par exemple, et que l'on veuille ensuite comparer ses propres résultats à ceux d'autres chercheurs, il est nécessaire, entre autres, que la température à laquelle on a travaillé soit exprimée dans la même échelle, avec la même unité.

La thermodynamique nous fournit une définition des températures, indépendante de toute propriété de la matière. Cette définition purement théorique, basée sur le principe de Carnot, a été énoncée sous sa première forme par W. THOMSON en 1848.

* Exposé présenté à la séance du 19 juin 1969 de la Section d'Océanographie Physique du Comité National Français de Géodésie et Géophysique.



2 MAI 1970

Extrait des "CAHIERS OCEANOGRAPHIQUES", XXII, 3 (mars 1970)

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° B/4117

Bien que l'échelle thermodynamique obtenue à partir de cette définition soit elle-même définie avec la plus grande rigueur et convienne parfaitement à un esprit scientifique, sa réalisation pratique est pour le moins mal aisée. Il a donc fallu réaliser une échelle pratique coïncidant au mieux (compte tenu des connaissances de l'époque) avec cette échelle thermodynamique (ou échelle absolue), ce qui a conduit à suivre GAY-LUSSAC dans sa proposition d'utiliser la propriété de corps fictifs dits gaz parfaits, qui est de fournir, par leur dilatation, une échelle thermométrique qui s'avéra identique à l'échelle absolue.

La première échelle thermométrique pratique fut donc réalisée avec un thermomètre à gaz, appareil dans lequel on mesure, par exemple, la variation de pression d'une masse donnée de gaz lorsqu'on fait varier sa température en maintenant son volume constant. L'échelle est entièrement définie lorsqu'on a fait choix de deux points fixes : le point de congélation et le point d'ébullition de l'eau pure sous la pression d'une atmosphère normale ($101\,325\text{ Nm}^{-2}$), points auxquels on a attribué arbitrairement les valeurs respectives 0 et 100. Le gaz utilisé était l'hydrogène, et certaines corrections étaient apportées pour tenir compte du fait que ce gaz n'est pas parfait. En admettant que la température est une fonction linéaire de la pression du gaz, la centième partie de cet intervalle a reçu le nom de degré centigrade. La Conférence Générale des Poids et Mesures adopta cette échelle sous le nom d'Echelle Normale en 1889.

Le thermomètre à gaz, d'un emploi compliqué, resta longtemps le thermomètre de référence. Pour les besoins courants, on préféra utiliser des thermomètres à mercure dont on connaît le principe (variation relative d'un volume de mercure dans une enveloppe de verre) et qui devinrent des instruments de précision après les travaux effectués au Bureau International des Poids et Mesures, où ils furent comparés directement au thermomètre à hydrogène.

En 1927, l'Echelle Normale fut remplacée par l'Echelle Internationale de Température, fondée sur une série de températures d'équilibre auxquelles on a attribué des valeurs numériques, et sur des instruments et des procédés d'interpolation bien précisés. Entre 0 et 444°C (point d'ébullition du soufre), on utilisait la variation de résistance électrique d'un fil de platine en fonction de la température. Les coefficients de l'équation du second degré représentant cette variation étaient déterminés par des mesures à 0, 100 et 444°C . Les températures exprimées dans cette Echelle coïncidaient avec l'Echelle absolue dans les limites de la précision des mesures de cette époque. Elles avaient, bien entendu, toutes deux la même unité.

Cette Echelle Internationale fut révisée en 1948. Quelques valeurs numériques attribuées à certains points fixes furent modifiées, mais rien ne fut changé dans l'intervalle 0- 100°C . On devint plus exigeant sur la pureté du platine entrant dans la fabrication des thermomètres à résistance.

A l'occasion de cette révision, et afin d'assurer l'uniformité internationale de la nomenclature, la 9^e Conférence Générale des Poids et Mesures décida, en 1948, d'abandonner les mots "centigrade" et "centésimal" en faveur du mot "Celsius". Ainsi, le symbole °C prend désormais la signification "degré Celsius".

Cette Echelle de 1948 fut amendée en 1960 sous le nom d'Echelle Internationale Pratique de Température de 1948 (amendée en 1960). L'échelle thermodynamique de base fut fondée à partir de cette date sur un seul point fixe, celui du point triple de l'eau auquel on a attribué la valeur de 273,16° Kelvin (ou + 0,01°C). Le point triple de l'eau, dont la température est + 0,01°C dans l'échelle pratique, remplace le point de fusion de la glace d'eau pure. L'étalonnage des thermomètres à résistance se fait maintenant au point triple et au point d'ébullition de l'eau, ainsi qu'au point de congélation du zinc (419,5°C) qui a remplacé le point d'ébullition du soufre.

En 1948, et plus encore en 1960, on reconnaissait qu'il existait un désaccord entre l'échelle thermodynamique et l'échelle pratique. Des comparaisons avaient été effectuées précédemment entre des thermomètres à gaz et des thermomètres à résistance, mais les différences trouvées étaient du même ordre de grandeur que les incertitudes des mesures, mesures qui étaient très délicates. Il était donc plus sage de conserver l'échelle pratique dans son état.

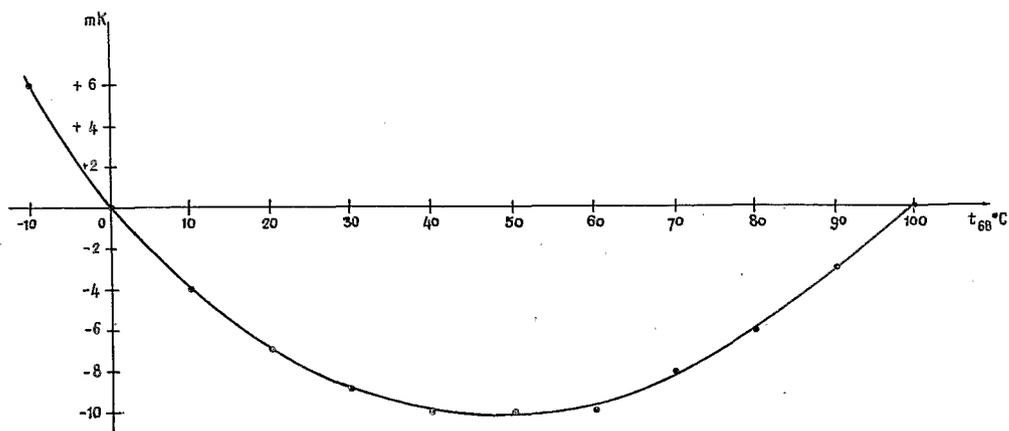
Afin de mieux faire coïncider l'échelle thermodynamique avec l'échelle pratique, de très nombreuses recherches furent entreprises en vue d'améliorer la réalisation des points fixes, de mieux connaître leur température dans l'échelle thermodynamique, de perfectionner les instruments d'interpolation, etc... On est arrivé à établir une courbe des écarts entre l'échelle thermodynamique et l'E.T.P.T.-48 modifiée en 1960 ; c'est à partir de cette courbe et des nouvelles valeurs des températures des points fixes qu'est née l'Echelle Internationale Pratique de Température - 1968, approuvée par le Comité International des Poids et Mesures en octobre 1968, et dont le texte vient d'être publié par le Bureau International des Poids et Mesures.

Quelques changements ont été apportés dans la nomenclature, les définitions et les symboles.

La température de base reste la température thermodynamique, symbole T, dont l'unité n'est plus le degré Kelvin mais le kelvin, symbole K. Sa définition est : le kelvin est la fraction 1/273,16 de la température thermodynamique du point triple de l'eau. (13^{ème} Conférence Générale des Poids et Mesures, 1967).

La température Celsius, symbole t, est définie par :

$$t = T - T_0 \quad \text{où } T_0 = 273,15 \text{ K.}$$



Différences approximatives ($t_{68} - t_{68}$) en kelvins, entre les valeurs de température données par l'E.I.P.T. de 1968 et l'E.I.P.T. de 1948.

L'Unité employée pour exprimer une température Celsius reste le degré Celsius qui est égal au kelvin.

L'Echelle Internationale Pratique de Température de 1968 a été choisie de telle façon que la température mesurée dans cette échelle pratique soit une étroite approximation de la température thermodynamique, les différences demeurant dans les limites de l'exactitude actuelle des mesures.

Dans l'Echelle Internationale Pratique de Température de 1968, on distingue la Température Kelvin Internationale Pratique, symbole T_{68} , et la Température Celsius Internationale Pratique, symbole t_{68} . On a la relation :

$$t_{68} = T_{68} - 273,15 \text{ K}$$

Les unités de T_{68} et de t_{68} sont respectivement le kelvin et le degré Celsius.

On exprime une différence de température en kelvins ; on peut l'exprimer également en degré Celsius.

Cette nouvelle échelle couvre toutes les températures supérieures à 13 K.

Dans le domaine qui intéresse particulièrement les océanographes, l'instrument d'interpolation est toujours le thermomètre à résistance, dont le platine doit satisfaire à des critères de pureté encore plus sévères que précédemment.

Les points fixes d'étalonnage sont maintenant le point triple de l'eau (+ 0,01°C, par définition), le point d'ébullition de l'eau (100°C) que l'on peut remplacer par le point de congélation de l'étain (231,968°C) et le point de congélation du zinc (419,58°C).

Au sujet des deux points fixes, points triple et d'ébullition de l'eau, il faut signaler qu'en 1967 MENACHE avait attiré l'attention sur la nécessité de tenir compte de la composition isotopique de l'eau dans l'étude des propriétés physiques de ce liquide. Il avait, en particulier, signalé l'exceptionnelle stabilité de la composition isotopique de l'eau de mer. Ceci a mené le Comité International des Poids et Mesures à spécifier, dans la nouvelle échelle, que l'eau utilisée pour ces points de référence doit avoir la composition isotopique de l'eau des océans.

La nouvelle formule liant la résistance à la température entre les points d'étalonnage est plus complexe que dans la précédente échelle.

Il existe des écarts appréciables répartis suivant une courbe régulière entre 0 et 100°C sauf à + 0,01°C, point de définition, et 100°C où les deux échelles coïncident pratiquement.

A titre d'exemple on a :

$$\begin{array}{rcl}
 t_{68} = t_{48} + 6 \text{ mK à } & - 10 \text{ }^\circ\text{C} \\
 & - 4 \quad \quad \quad + 10 \text{ }^\circ\text{C} \\
 & - 7 \quad \quad \quad + 20 \text{ }^\circ\text{C} \\
 & - 9 \quad \quad \quad + 30 \text{ }^\circ\text{C}.
 \end{array}$$

Ces différences peuvent ne pas être négligeables, et il est important, dans cette période transitoire, de bien vérifier l'échelle employée si l'on ne veut pas s'exposer à des malentendus et à des erreurs.

551.46(083.3)
551.46.087