
ANNEXE I.

TEXTE CORRIGÉ

concernant l'adoption, à titre provisoire, d'une échelle internationale de température.

Voir l'ÉNONCÉ. Septième Conférence générale, Annexe IV, p. 94.

(Les points corrigés par rapport au texte inséré dans les Comptes rendus de la Septième Conférence générale sont signalés en marge par une étoile ★).

PREMIÈRE PARTIE.

Définition de l'échelle internationale de température.

1. L'échelle thermodynamique centigrade, dans laquelle la température de la glace fondante et la température de condensation de la vapeur d'eau, toutes deux sous la pression d'une atmosphère normale, sont désignées par 0° et 100° respectivement, est reconnue comme l'échelle fondamentale à laquelle seront finalement rapportées toutes les températures.

2. Les conditions expérimentales nécessaires à la réalisation pratique de l'échelle thermodynamique ont conduit à adopter, pour l'usage international, une échelle pratique connue sous le nom d'« échelle internationale de température ». Cette échelle concorde avec l'échelle thermodynamique aussi près que possible, et autant que nos connaissances actuelles permettent de le vérifier; elle doit être définie et facile à reproduire exactement; elle doit, de plus, offrir le moyen de donner une valeur unique des températures dans toute son étendue. Ainsi, elle favorisera l'uniformité dans l'expression numérique des températures.

3. Les températures mesurées dans l'échelle internationale seront désignées d'ordinaire par « ° C. »; mais on peut aussi employer l'abréviation « ° C. (Int.) », si l'on désire appeler l'attention sur l'emploi de cette échelle.

4. L'échelle internationale des températures est fondée sur une série de températures d'équilibre fixes et faciles à reproduire, auxquelles des valeurs numériques sont assignées; elle utilise aussi les indications données par des instruments d'interpolation, repérés à ces températures suivant des procédés généralement acceptés.

5. Les points fixes fondamentaux et les valeurs numériques qui leur sont attribuées pour la pression d'une atmosphère normale sont reproduits dans la table suivante, en même temps que les formules qui représentent la température comme une fonction de la pression de vapeur.

6. Points fixes fondamentaux de l'échelle internationale de température :

a. Température d'équilibre entre l'oxygène liquide et gazeux à la pression d'une atmosphère normale (Point d'ébullition de l'oxygène)..... — 182,97

$$\star \quad t_p = t_{760} + 0,0126(p - 760) - 0,000065(p - 760)^2.$$

b. Température d'équilibre entre la glace et l'eau saturée d'air à la pression d'une atmosphère normale (Point de fusion de la glace)..... 0

c. Température d'équilibre entre l'eau liquide et sa vapeur à la pression d'une atmosphère normale (Point d'ébullition de l'eau)..... 100

$$t_p = t_{760} + 0,0367(p - 760) - 0,000023(p - 760)^2.$$

d. Température d'équilibre entre le soufre liquide et sa vapeur à la pression d'une atmosphère normale (Point d'ébullition du soufre)..... 444,60

$$\star \quad t_p = t_{760} + 0,0909(p - 760) - 0,000048(p - 760)^2.$$

e. Température d'équilibre entre l'argent solide et son liquide à la pression d'une atmosphère normale (Point de solidification de l'argent)..... 960,5

f. Température d'équilibre entre l'or solide et son liquide à la pression d'une atmosphère normale (Point de solidification de l'or)..... 1063,0

★ On définit la pression atmosphérique normale comme la pression exercée par une colonne de mercure de 760^{mm} de hauteur, ayant une masse spécifique de 135,5951 par centimètre cube, soumise à une accélération de la pesanteur égale à 980,665 cm/sec²; elle est équivalente à 1013250 dynes/cm².

★ Il est essentiel, dans une échelle pratique de température, que des valeurs numériques définies soient données à tels points fixes que l'on choisisse. On devrait remarquer, cependant, que, sauf aux points 0° et 100° exacts par définition dans l'échelle thermodynamique centigrade, le dernier chiffre décimal donné, pour chacune des valeurs dans la table, a une signification seulement en ce qui concerne la possibilité de reproduction de ce point fixe dans l'échelle internationale de température. Cela ne veut pas dire que les valeurs soient nécessairement connues avec la même exactitude dans l'échelle thermodynamique.

7. Les procédés d'interpolation conduisent à un partage de l'échelle en quatre régions.

a. Du point de fusion de la glace jusqu'à 660° C., la température t est déduite de la résistance R_t d'un thermomètre étalon en platine au moyen de la formule

$$(1) \quad R_t = R_0(1 + At + Bt^2).$$

Les constantes R_0 , A et B sont déterminées par des comparaisons au point de fusion de la glace et aux points d'ébullition de l'eau et du soufre.

b. De —190° C. jusqu'au point de fusion de la glace, on obtient la température par la résistance R_t d'un thermomètre étalon à résistance de platine au moyen de la formule

$$(2) \quad R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3],$$

★ où les constantes R_0 , A et B sont les mêmes que pour la formule (1); et l'on détermine la constante additionnelle C en comparant le thermomètre au point d'ébullition de l'oxygène.

La pureté et les conditions physiques du platine avec lequel le thermomètre est construit doivent être telles que la proportion $\frac{R_t}{R_0}$ ne soit pas inférieure à 1,390 pour $t = 100^\circ$ et à 2,645 pour $t = 444^\circ,60$.

Le thermomètre étalon, pour l'usage au-dessous de 0°C ., doit, en plus, montrer un rapport $\frac{R_t}{R_0}$ inférieur à 0,250 pour le point d'ébullition de l'oxygène ($-182^\circ,97$).

c. De 660°C . jusqu'au point de solidification de l'or, on déduit la température t de la force électromotrice e d'un thermocouple étalon formé de platine et de platine-rhodium, dont une soudure reste à la température constante de 0° , tandis que l'autre est portée à la température t définie par la formule

$$e = a + bt + ct^2.$$

Les constantes a , b et c sont déterminées en exposant le thermocouple au point de solidification de l'antimoine et aux points de fusion de l'argent et de l'or.

d. Au-dessus du point de solidification de l'or, on détermine la température t par la proportion entre l'intensité J_2 des radiations visibles monochromatiques de la longueur d'onde λ émises par un corps noir à la température t , et l'intensité J_1 des radiations de la même longueur d'onde émises par un corps noir au point de solidification de l'or.

La formule

$$\log_e \frac{J_2}{J_1} = \frac{C_2}{\lambda} \left(\frac{1}{1336^\circ} - \frac{1}{t + 273^\circ} \right),$$

dans laquelle la valeur de C_2 est égale à 1,432 cm. degrés, sert à définir t lorsque $(t + 273)\lambda$ est inférieur à 0,3 cm. degré.

DEUXIÈME PARTIE.

Spécifications détaillées.

1. *Oxygène*. — La température d'équilibre entre l'oxygène liquide et gazeux a été obtenue le plus sûrement par la méthode statique, le thermomètre à pression de vapeur d'oxygène étant comparé avec le thermomètre destiné à être étalonné dans un bain convenable à basse température.

2. *Glace*. — On obtient la température de la glace fondante, comme la température à laquelle de la glace divisée en menus morceaux se trouve en équilibre avec de l'eau pure et saturée d'air sous la pression atmosphérique normale. L'effet d'une augmentation de pression est d'abaisser le point de congélation de 0,007 degré C. par atmosphère.

3. *Vapeur d'eau*. — La température de condensation de la vapeur d'eau est obtenue en se servant d'un hypsomètre disposé de façon à éviter la surchauffe de la vapeur autour du thermomètre, ou sa contamination par l'air ou d'autres impuretés. Si l'on réalise les conditions voulues, la température observée doit être indépendante de la vitesse avec laquelle la chaleur est fournie à la chaudière — sauf dans le cas où la pression à l'intérieur de

l'appareil à ébullition pourrait être influencée —, et du temps pendant lequel l'hypso-mètre est employé.

4. *Soufre.* — Pour étalonner les thermomètres à résistance, la température de condensation de la vapeur de soufre est obtenue en appliquant les spécifications suivantes qui ont trait à l'appareil à ébullition, à la pureté du soufre, aux écrans contre le rayonnement, et, de façon générale, aux procédés employés.

Le tube d'ébullition est en verre, en silice fondue, ou en autre substance analogue, et il a un diamètre intérieur de 4^{cm} minimum et de 6^{cm} maximum. La colonne de vapeur doit être d'une longueur telle que l'extrémité inférieure de l'écran soit à 6^{cm} au moins au-dessus de la surface libre du liquide, et l'extrémité supérieure à 2^{cm} au moins au-dessous de la substance isolante qui protège le tube contre la chaleur environnante. Le chauffage électrique est le meilleur, bien qu'on puisse se servir de gaz; mais la source de chaleur et toute matière bonne conductrice en contact avec elle doivent se terminer à 4^{cm} au moins au-dessous de la surface libre du soufre liquide. Au-dessus de la source de chaleur, le tube est entouré de substance isolante. Tout élément employé pour boucher l'extrémité du tube doit posséder une ouverture libre pour l'égalisation de la pression.

Le soufre ne doit pas contenir plus de 0,02 pour 100 d'impuretés. (Le sélénium est l'impureté qu'on trouve le plus fréquemment en quantité suffisante pour affecter la température du point d'ébullition.)

L'écran est en forme de cylindre, ouvert à l'extrémité inférieure, et muni, à l'extrémité supérieure, d'une partie conique qui serre étroitement le tube protecteur du thermomètre. La partie cylindrique a un diamètre de 1^{cm},5 à 2^{cm},5 plus grand que celui du tube protecteur du thermomètre, et d'au moins 1^{cm} plus petit que celui de l'intérieur du tube à ébullition. Le cylindre doit dépasser d'au moins 1^{cm},5 chacune des extrémités de la bobine servant de thermomètre. A la partie supérieure du cylindre et au-dessous de la portion cylindrique, doit se trouver un espace assez grand pour permettre une circulation libre de vapeur. La paroi de l'écran doit être faiblement réfléchissante; l'écran peut être en tôle métallique, en graphite, etc.

En étalonnant un thermomètre, on chauffe le soufre jusqu'à son point d'ébullition et l'on règle la chauffe de telle façon que la ligne de condensation soit d'au moins 1^{cm} au-dessus de la partie supérieure de la substance isolante. Le thermomètre avec son écran est mis dans la vapeur, et quand la ligne de condensation atteint de nouveau sa hauteur précédente, on fait des observations simultanées de la résistance et de la pression barométrique. Dans tous les cas, on doit avoir soin de vérifier que la température est indépendante des déplacements verticaux du thermomètre et de son écran.

5. *Argent et or.* — Pour étalonner un thermocouple, le métal dont on doit se servir est contenu dans un creuset en graphite pur, en porcelaine réfractaire, ou en toute autre substance qui n'agit pas sur le métal de manière à le contaminer à un degré appréciable.

Il faut que l'argent, quand il est chaud, soit protégé contre l'entrée de l'oxygène.

On place le creuset et sa charge dans un four électrique capable de chauffer le contenu jusqu'à une température uniforme.

On fond le métal et on l'amène à une température uniforme de quelques degrés au-dessus de son point de fusion, puis on le laisse refroidir lentement avec le thermocouple immergé dans le bain, comme il est décrit ci-après.

Le thermocouple monté dans un tube de porcelaine, avec des isolateurs en porcelaine

qui séparent les deux fils, est plongé dans le métal fondu par un trou pratiqué dans le centre du couvercle du creuset. La profondeur de l'immersion doit être telle que, pendant le temps de solidification, on puisse élever ou abaisser le thermocouple d'au moins 1^{cm} à partir de sa position normale, sans changer d'un microvolt la force électromotrice.

Pendant la solidification, la force électromotrice doit rester constante à 1 microvolt près pendant une période de 5 minutes au moins.

On peut aussi, au lieu de déplacer le thermocouple pour constater qu'il n'y a pas d'influence des conditions extérieures sur la température observée, déterminer les points de congélation et de fusion; si ceux-ci ne diffèrent pas de plus de 2 microvolts, les points de congélation peuvent être considérés comme satisfaisants.

★

6. *Le thermomètre étalon à résistance de platine.* — Le diamètre du fil doit être compris entre 0^{mm},05 et 0^{mm},2.

Le fil de platine du thermomètre doit être monté de façon qu'il soit au minimum de contrainte mécanique, afin que les changements de température puissent exercer un minimum de déformation mécanique sur le platine.

Le thermomètre doit être d'une construction telle que la portion dont on mesure la résistance soit faite seulement en platine, et qu'elle soit à la température uniforme à mesurer.

★

Après avoir achevé la construction du thermomètre, on doit le recuire à une température de 660° au moins, avant de s'en servir.

7. *Le thermocouple étalon.* — Le platine du thermocouple étalon doit être assez pur pour que le quotient $\frac{R_t}{R_0}$ ne soit pas inférieur à 1,390 pour $t = 100^\circ$. L'alliage doit contenir 90 pour 100 de platine avec 10 pour 100 de rhodium. Il faut que le thermocouple, une fois monté, développe une force électromotrice, quand une jonction est à 0° et l'autre au point de solidification de l'or, de 10200 microvolts internationaux minimum et de 10400 microvolts internationaux maximum. Le diamètre des fils employés dans les thermocouples étalons doit être compris entre les valeurs 0^{mm},35 et 0^{mm},65.

Le point de solidification de l'antimoine, adopté pour l'étalonnage du thermocouple, se trouve entre 0° et 660°, où l'échelle internationale est fixée par les indications du thermomètre étalon à résistance, et la valeur numérique de cette température doit être déterminée par le thermomètre à résistance. On donne, dans l'annexe, le résultat de ces déterminations comme étant à 630°,5, mais on doit déterminer, au moyen d'un thermomètre étalon à résistance, la température de la quantité particulière d'antimoine qui doit être employée dans l'étalonnage du thermocouple.

Le procédé à suivre en se servant du point de congélation de l'antimoine comme température fixe est essentiellement pareil à celui qui a été décrit pour l'argent. L'antimoine a une forte tendance à la surfusion. Celle-ci ne sera pas excessive si l'on ne chauffe le métal qu'à quelques degrés au-dessus de son point de fusion, et si l'on agite le métal liquide. Pendant la solidification, la température doit rester constante à 0,1 degré près pendant cinq minutes au moins.

8. *Les points secondaires.* — Outre les points fixes fondamentaux, on peut obtenir les températures de plusieurs autres points, et l'on peut s'en servir pour étalonner les instruments secondaires destinés à la mesure des températures. Ces points et leurs températures

sont donnés ci-après. Les températures mentionnées sont celles qui correspondent à une atmosphère normale. Les formules concernant la pression de vapeur en fonction de la température sont valables entre 680^{mm} et 780^{mm}.

	Température d'équilibre entre l'acide carbonique solide et gazeux.....	—	78,5
★	$t_p = t_{760} + 0,01595(p - 760) - 0,0000111(p - 760)^2.$		
	Température de solidification du mercure.....	—	38,87
	» transition du sulfate de sodium.....	+	32,38
	» condensation de la vapeur de naphthaline.....		217,96
★	$t_p = t_{760} + 0,058(p - 760).$		
	Température de solidification de l'étain.....		231,85
	» condensation de la vapeur de benzophénone.....		305,9
★	$t_p = t_{760} + 0,063(p - 760).$		
	Température de solidification du cadmium.....		320,9
	» » » du plomb.....		327,3
	» » » du zinc.....		419,45
	» » » de l'antimoine.....		630,5
	» » » du cuivre dans une atmosphère réductrice...		1083
	» » » du palladium.....		1555
	Température de fusion du tungstène.....		3400