

# TRAVAUX ET MÉMOIRES

DU

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES.

PUBLIÉS SOUS LES AUSPICES

DU

COMITÉ INTERNATIONAL

PAR

LE DIRECTEUR DU BUREAU

---

TOME XX



PARIS

LIBRAIRIE-IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS

ÉDITEUR DU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Quai des Grands-Augustins, 55

1944

COMPARAISON INTERNATIONALE  
DES  
ÉCHELLES DE TEMPÉRATURE

ENTRE 660° ET 1063° C.

PAR

**W.-F. RCESER,**  
National Bureau of Standards,

**F.-H. SCHOFIELD,**  
National Physical Laboratory,

ET

**H.-A. MOSER,**  
Physikalisch-Technische Reichsanstalt.

---

COMPARAISON INTERNATIONALE

DES

**ÉCHELLES DE TEMPÉRATURE**

ENTRE 660° ET 1063°C.

---

**Résumé.**

Cette note se rapporte à l'intercomparaison des échelles de température (entre 660° et 1063° C.) en usage depuis l'année 1927 au National Physical Laboratory, à la Physikalisch-Technische Reichsanstalt et au National Bureau of Standards. On y montre que les méthodes employées dans la réalisation de l'échelle de température internationale ont fourni des résultats différant de 0,7 degré à 850°, dus d'abord à un écart d'environ 0,4 degré au point de solidification de l'argent, un des points de référence fixés pour l'échelle de température internationale. Après avoir échangé les échantillons d'argent et les couples thermoélectriques, les différentes échelles ont été amenées à concorder à moins de 0,1 degré près en tout point de l'intervalle dans lequel on a fait les mesures.

**I. — Introduction.**

Depuis l'adoption, à titre provisoire, d'une échelle internationale de température en 1927 par la Septième Conférence générale des Poids et Mesures, où 31 nations étaient représentées, les déterminations de la température dans le

monde entier ont été basées, pour la première fois dans l'histoire, sur un groupe commun de définitions et de spécifications. Dans la définition de l'échelle internationale de température, des valeurs sont assignées aux points fixes choisis; les instruments sont décrits pour être ajustés à ces points fixes, et les formes d'équations sont spécifiées pour obtenir des valeurs autres que celles des points fixes. Le procédé expérimental qui doit être suivi en étalonnant les instruments en ces points fixes est aussi spécifié dans une faible mesure.

Le fait que deux laboratoires de vérification basent leurs déterminations de température sur l'échelle internationale laisserait supposer que les résultats obtenus avec les instruments étudiés dans un de ces laboratoires doivent concorder parfaitement avec ceux fournis par des instruments étalonnés dans l'autre. Cela n'est cependant pas rigoureusement le cas. Comme les points fixes de l'échelle sont les températures auxquels les états solide et liquide ou les états liquide et gazeux sont en équilibre, de petites différences dans la pureté de la matière employée, ou des divergences dans la technique expérimentale, peuvent conduire à des écarts systématiques. Ceux-ci pourront être facilement déterminés par l'étalonnage, dans tous les laboratoires intéressés, d'un même instrument, ou, mieux encore, d'un même groupe d'instruments.

Des conventions ont été conclues entre les laboratoires nationaux de Grande-Bretagne, d'Allemagne et des États-Unis, pour entreprendre des comparaisons par l'échange d'instruments étalonnés dans chaque laboratoire, suivant le procédé convenu pour réaliser l'échelle internationale de température. Puisque trois types d'instruments, le thermomètre à résistance, le couple thermoélectrique et le pyromètre optique, sont nécessaires pour couvrir le domaine entier de cette échelle, le travail a été naturellement divisé en trois parties. La portion couvrant l'intervalle de l'échelle basée sur les indications d'un couple thermoélectrique, a été seule achevée, et elle est le sujet de cette note. Les deux autres parties du travail seront publiées ultérieurement.

## II. — Définition de l'échelle entre 660° et 1063° C. (1).

« De 660° à la température de fusion de l'or, la température  $\theta$  est déduite de la force électromotrice  $e$  d'un couple en platine et platine-rhodié, dont une des soudures est maintenue à la température constante de 0°, tandis que l'autre

---

(1) *Comptes rendus de la Septième Conférence générale des Poids et Mesures*, 1927, p. 56. Texte en Annexe IV, p. 94. — *B. S. Journal of Research*, I, 1928, p. 635. — *Zs. f. Phys.*, Vol. 49, 1928, p. 742.

TABLEAU II.

*Données sur les métaux employés dans le premier étalonnage des couples thermoélectriques.*

Métal préparé.	Pureté.	Point de solidification (1).	Matériau du creuset.	Profondeur (2).
<i>National Bureau of Standards.</i>				
Or, par le U. S. Bureau of the Mint..	99,99(?)	1063°,0	Graphite (Acheson)	11 <sup>cm</sup>
Argent (vieux), par le U. S. Bureau of the Mint.....	99,931	960°,5(?)	Graphite (Acheson) (3)	11
Argent d'inquartation, par le U. S. Bureau of the Mint.....	99,992	960°,5	Graphite (Acheson) (3)	11
Antimoine, par Schering-Kahlbaum A. G.....	99,96(?)	630°,53 en 1929 630°,47 en 1931	Graphite (Acheson) (3)	11
Zinc, par New Jersey Zinc Co.....	99,992	419°,50	Graphite (Acheson) (3)	11
<i>National Physical Laboratory.</i>				
Or purifié, par Johnson Matthey et Co.	99,99(?)	1063°,0	Porcelaine (Marquardt)	9
Argent, par Johnson Matthey et Co..	99,99	960°,5	Silice (4)	13
Antimoine, par Schering-Kahlbaum..	99,97	630°,42	Graphite (3)	11
Zinc, par New Jersey Zinc Co.....	99,97	419°,43	Graphite (3)	8
<i>Physikalisch-Technische Reichsanstalt.</i>				
Or (1928), par Heraeus.....	-	1063°,0	-	(Méthode par les fils)
Or (1931), par Gold-u. Silberscheidanstalt.....	99,99	1063°,0	Porcelaine	7
Argent, par Heraeus.....	99,99	960°,5	Graphite (Acheson) (5)	9
Antimoine (1928), par Schering-Kahlbaum.....	-	630°,35	Graphite (5)	11
Antimoine (1931), par Schering-Kahlbaum.....	99,97	630°,48	Graphite (5)	11
Zinc, par Schering-Kahlbaum.....	99,9	419°,45	Graphite (5)	10

(1) Les valeurs pour les points de solidification de l'or et de l'argent sont fixées par convention. Les valeurs pour l'antimoine et le zinc sont déterminées par l'emploi du thermomètre à résistance de platine.

(2) Profondeur d'immersion du couple thermoélectrique.

*Méthode de protection contre l'oxygène.* — (3) Couvert avec du graphite en poudre. — (4) Fondu dans le vide. — (5) Couvert avec du graphite.

COMPARAISON DES ÉCHELLES DE TEMPÉRATURE.

TABLEAU III. — Résumé des observations.

Laboratoire.	Année.	Force électromotrice en microvolts.					
		D <sub>3024</sub> .	D <sub>3026</sub> .	G <sub>1</sub> .	G <sub>2</sub> .	P <sub>16</sub> .	P <sub>11</sub> .
<i>Point de fusion de l'or : 1063° 0.</i>							
P. T. R.....	1928	10256	10257	-	-	-	-
N. B. S.....	1929	10256	10257,3	10307,8	10312,7	10316,9	10314,7
N. P. L.....	1930	10254	10253,5	10307,5	10312	10316	10314
P. T. R.....	1931	10261	10257	10305	10314	10314	10314
N. B. S.....	1931	-	-	10307,3	10313,0	10313,2	10312,0
P. T. R.....	1931	-	10258	-	-	-	-
<i>Point de fusion de l'argent : 960° 5 (1).</i>							
P. T. R.....	1928	9082	9080	-	-	-	-
N. B. S.....	1929	9075,5	9075,7	9117,5	9121,9	9124,7	9122,8
N. P. L.....	1930	9077,5	9074	9126,5	9129,5	9127,5	9128,5
P. T. R.....	1931	9078	9064 (2)	9117	9123	9121	9124
N. B. S.....	1931	-	-	9117,3	9121,9	9121,0	9119,9
P. T. R.....	1931	-	9080 (3)	-	-	-	-
N. B. S.....	1931	-	-	9118,2	9121,8	-	-
N. B. S.....	1931	-	-	9123,5 (4)	9127,0 (4)	-	-
<i>Point de fusion de l'antimoine : 630° 50 (5).</i>							
P. T. R.....	1928	5513,5	5512,5	-	-	-	-
N. B. S.....	1929	5512,1	5512,1	5537,3	5539,3	5537,3	5535,8
N. P. L.....	1930	5514,8	5513,8	5536,8	5539,8	5535,8	5536,8
P. T. R.....	1931	5512,2	5512,2	5540,2	5541,2	5536,2	5537,2
N. B. S.....	1931	-	-	5536,7	5539,4	5535,6	5534,4
<i>Point de fusion du zinc : 419° 45 (6).</i>							
P. T. R.....	1928	3422,5	3422,1	-	-	-	-
N. B. S.....	1929	3423,2	3423,3	3437,4	3438,1	3435,3	3434,4
N. P. L.....	1930	3425,2	3424,2	3437,7	3438,2	3436,7	3436,2
P. T. R.....	1931	3424	3419	3437	3438	3434	3434
N. B. S.....	1931	-	-	3437,0	3438,0	3434,1	3433,4

(1) Des mesures additionnelles avec d'autres couples thermoélectriques au N. B. S. et à la P. T. R. ont montré que la force électromotrice au point de solidification de l'argent était de 5,5 microvolts plus élevée que celle du premier lot d'argent du N. B. S., et de 3,5 microvolts plus élevée que celle de l'argent de la P. T. R.

(2) Ce couple thermoélectrique a été reconnu non homogène après cette mesure.

(3) Cette valeur a été obtenue après avoir recuit ce couple thermoélectrique pendant 1 minute à 1200°.

(4) Ces valeurs ont été obtenues en employant un nouveau lot d'argent (voir p. 5).

(5) Les points de solidification des différents échantillons d'antimoine étaient compris entre 630°,35 et 630°,53; mais toutes les valeurs de ce tableau ont été rapportées à 630°,50.

(6) Les points de solidification des différents échantillons de zinc s'échelonnaient entre 419°,43 et 419°,50; mais toutes les valeurs de ce tableau ont été rapportées à 419°,45.

TABLEAU IV. — Force électromotrice moyenne des couples thermoélectriques.

Point de solidification.	Tempé- rature.	Force électromotrice en microvolts.		
		P. T. R.	N. P. L.	N. B. S.
Or.....	1063,0	10293,8	10292,8	10293,7
Argent (1 <sup>er</sup> lot).....	960,5	9107,5 <sup>(1)</sup>	9110,6	9105,8 <sup>(2)</sup>
Argent (2 <sup>e</sup> lot) <sup>(3)</sup> .....	960,5	9111,0	-	9111,3
Antimoine.....	630,50	5530,0	5529,6	5528,7
Zinc.....	419,45	3431,1	3433,0	3431,7

Les conclusions suivantes ont été tirées de ces expériences :

A<sup>(4)</sup>. Le point de solidification de l'argent d'inquartation est de 0,5 degré (5,5 microvolts) plus élevé que celui de l'argent employé précédemment au Bureau of Standards, et désigné comme « 1<sup>er</sup> lot » dans le tableau IV ci-dessus.

B<sup>(5)</sup>. Le point de solidification de l'argent d'inquartation est de 0,3 degré (3,5 microvolts) plus élevé que celui de l'argent d'Heraeus, porté dans le tableau II.

C<sup>(4)</sup>. Le point de solidification de l'argent d'inquartation est de moins de 0,01 degré (0,1 microvolt) inférieur à celui d'un échantillon aimablement mis à notre disposition par M. A.-L. Day, et employé dans le travail sur le thermomètre à gaz de Day et Sosman, qui a conduit à accepter 960°,5 comme point de solidification de l'argent pur.

D<sup>(4)</sup>. Le point de solidification d'un lot particulier d'argent protégé contre l'oxygène par du graphite, est inférieur de 0,05 degré (0,6 microvolt) à celui du même argent, fondu dans de la porcelaine et sous le vide (pression 0<sup>mm</sup>,03 à 0<sup>mm</sup>,005 de mercure).

D'après cela, il est évident que les résultats du National Bureau of Standards et de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, donnés dans les tableaux III et IV pour les premiers lots d'argent, devraient être accrus de 5,5 et 3,5 microvolts respectivement. Si l'on fait la correction, les observations des trois laboratoires au point de solidification de l'argent sont ramenées à une concordance extrêmement serrée.

Les différences entre les échelles de température thermoélectrique des divers

(1) La valeur 9064 obtenue en 1931 avec D<sub>3026</sub> n'est pas comprise dans cette moyenne.

(2) Cette valeur a été obtenue avec de l'argent qui contenait 0,069 pour 100 d'impuretés.

(3) Les valeurs reproduites ici ont été obtenues en appliquant des corrections aux nombres donnés dans la ligne précédente.

(4) Bureau of Standards, *Journal of Research*, 1933, 40, 661.

(5) *Zeits. für Instrumentenkunde*, 32, 1932, p. 201.

COMPARAISON DES ÉCHELLES DE TEMPÉRATURE.

laboratoires basées sur l'argent ancien et le nouveau sont données en détail dans le tableau V.

TABLEAU V. — Force électromotrice moyenne des couples thermoélectriques en fonction de la température.

Température.	Force électromotrice en microvolts.				
	N. P. L.	P. T. R.	P. T. R.	N. B. S.	N. B. S.
		Basé sur l'argent d'inq.	Basé sur l'argent de la P. T. R.	Basé sur l'argent d'inq.	Basé sur le vieil argent.
419,45.....	3433,0	3431,1	3431,1	3431,7	3431,7
630,50.....	5529,6	5530,0	5530,0	5528,7	5528,7
660,00.....	5835,7	5836,0	5834,8	5835,0	5833,1
700,00.....	6255,2	6255,4	6252,8	6254,8	6250,7
750,00.....	6786,7	6786,7	6782,9	6786,5	6780,4
800,00.....	7326,0	7326,0	7321,4	7326,1	7318,9
850,00.....	7873,2	7873,3	7868,5	7873,6	7866,0
900,00.....	8428,4	8428,5	8424,0	8428,9	8421,7
950,00.....	8991,4	8991,7	8988,0	8992,0	8986,2
960,50.....	9110,6	9111,0	9107,5	9111,3	9105,8
1000,00.....	9562,2	9562,8	9560,4	9563,0	9559,3
1050,00.....	10141,0	10141,9	10141,4	10141,9	10141,0
1063,00.....	10292,8	10293,8	10293,8	10293,7	10293,7

IV. — Conclusion.

Les résultats indiquent que, avant cette intercomparaison, la différence maximum dans le domaine de 660° à 1063° des échelles de température du National Physical Laboratory et du National Bureau of Standards, était de 0,7 degré à 850° due principalement à un écart de 0,42 degré du point de solidification de l'argent. La différence maximum entre les échelles du National Physical Laboratory et de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt était de 0,4 degré à 850°, en raison d'une différence de 0,27 degré à la température de solidification de l'argent. Après échange des échantillons d'argent, ces divergences ont été réduites à 0,1 degré environ. Les valeurs moyennes obtenues avec six couples thermoélectriques dans les trois laboratoires nationaux concordent entre elles à cette valeur près. Les résultats obtenus avec un couple isolé peuvent discorder davantage, par exemple de plusieurs dixièmes de degré. De telles différences peuvent s'expliquer par de faibles défauts d'homogénéité dans les couples ou par un manque d'uniformité de la température dans le four; elles ont par conséquent le caractère d'erreurs accidentelles.

10 REESER, ETC. — COMPARAISON DES ÉCHELLES DE TEMPÉRATURE.

Les auteurs désirent exprimer leur reconnaissance pour la coopération reçue des institutions nommées ci-après :

National Physical Laboratory : M. J.-A. Hall (assistant) pour la détermination, au thermomètre à résistance, du point de solidification de l'antimoine, et M. C.-R. Barber (junior observer) pour avoir aidé dans les mesures du couple thermoélectrique. National Bureau of Standards : M. F.-R. Caldwell, pour la détermination, au thermomètre à résistance, du point de solidification de l'antimoine.

