

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

AVERTISSEMENT

Le tome 26 des *Procès-Verbaux* est publié en deux volumes A et B.

Le tome 26-A contient les Procès-Verbaux des sessions de 1958 :

— du Comité International des Poids et Mesures (pages 1 à 133),

— du Comité Consultatif de Thermométrie (pages T 1 à T 226).

Le tome 26-B contient les Procès-Verbaux des sessions de 1957 des Comités Consultatifs :

— pour la Définition de la Seconde (pages S 1 à S 64),

— d'Électricité (pages E 1 à E 98),

— pour la Définition du Mètre (pages M 1 à M 180),

— de Photométrie (pages P 1 à P 123).

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

PROCÈS-VERBAUX

DES SÉANCES

2^e SÉRIE. — TOME 26-A

47^e SESSION — 1958

(29 septembre-3 octobre)

ET

COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE

(5^e Session - juin 1958)



PARIS

GAUTHIER-VILLARS, ÉDITEUR-IMPRIMEUR-LIBRAIRE

55, Quai des Grands-Augustins, 55

1959

LISTE DES MEMBRES

DU

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

AU 29 SEPTEMBRE 1958

Président

1. A. DANJON, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire de Paris, 61 avenue de l'Observatoire, Paris (14^e).

Vice-Président

2. R. VIEWEG, Président, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, Braunschweig.

Secrétaire

3. G. CASSINIS, Recteur, Politecnico Milano, Commissione Geodetica Italiana, Piazza Leonardo da Vinci 32, Milano.

Membres

4. A. V. ASTIN, Directeur, National Bureau of Standards, Washington 25, D.C.
5. H. BARRELL, Superintendent, Standards Division, National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex.
6. J. DE BOER, Professeur à l'Université, Finsensstraat 28, Amsterdam-O.
7. G. D. BOURDOUN, Vice-Président, Comité des Normes, des Mesures et Instruments de Mesure, Leninski prosp. 9 b, Moscou V 49.
8. N. A. ESSERMAN, Directeur, National Standards Laboratory, University Grounds, City Road, Chippendale, n. s. w.

9. L. E. HOWLETT, Directeur, Division of Applied Physics, National Research Council, Sussex Drive, *Ottawa 2*, Ontario.
10. T. ISNARDI, Professeur à l'Université, Calle Arcos 1901, *Buenos Aires*.
11. C. KARGATCHIN, Chef de Section honoraire, Ministère du Commerce, Martićeva 31, *Zagreb*.
12. K. S. KRISHNAN, Directeur, National Physical Laboratory of India, Hillside Road, *New Delhi 12*.
13. J. NUSSBERGER, Institut des Recherches Géodésiques, Kostelní 42, *Praha VII*.
14. J. M. OTERO, Directeur, Instituto de Optica « Daza Valdés », Serrano 119, *Madrid*.
15. M. SIEGBAHN, Directeur, Nobelinstitutet för Fysik, *Stockholm 50*.
16. J. STULLA-GÖTZ, Wirkl. Hofrat, Bundesamt für Eich-und Vermessungswesen, Arltgasse 35, *Wien XVI*.
17. Y. VÄISÄLÄ, Professeur à l'Université, Puolalanpuisto 1, *Turku*.
18. Z. YAMAUTI, Professeur à l'Université de Keio, 1, Iogi-2-chome, Suginami-ku, *Tokyo*.

Membres honoraires

1. L. DE BROGLIE, de l'Académie Française, Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences, 94 rue Perronet, *Neuilly-sur-Seine*.
2. M. DEHALU, Administrateur-Inspecteur honoraire de l'Université de Liège, 3 Square Gramme, *Liège*.
3. R. H. FIELD, 32 Highgate Gardens, *St. Michael* (Barbados, B. W. I.).
4. W. J. DE HAAS, Directeur honoraire du Kamerlingh Onnes Laboratorium, Huize Geijnzicht, *Loenersloot*.
5. M. ROŠ, Ancien Président de la Direction du Laboratoire fédéral d'essai des Matériaux et Institut de Recherches, 58 Asylstrasse, *Zurich 7/32*.



LISTE DU PERSONNEL

DU

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

AU 29 SEPTEMBRE 1958

Directeur.....	CH. VOLET.
Sous-Directeur.....	J. TERRIEN.
Adjoint.....	A. BONHOURE.
Chef de Travaux.....	H. MOREAU.
Assistants.....	{ G. LECLERC. A. THULIN. J. HAMON. J. BONHOURE. G. GIRARD. H. HIRAYAMA (stagiaire).
Archiviste-comptable.....	A. JEANNIN.
Secrétaires-dactylographes.....	{ M ^{me} C. BABOLAT. M ^{me} G. BROCHARD.
Calculateurs.....	{ F. LESUEUR. C. GARREAU (en congé). R. CZERWONKA. J.-M. CHARTIER.
Mécaniciens.....	{ R. HANOCQ. R. MICHARD.
Gardiens.....	{ J. DIAZ. L. SOURIMAN.

Membre honoraire

Directeur honoraire..... A. PÉRARD.

ORDRE DU JOUR DE LA SESSION

Ouverture de la session. Quorum.

Rapport du Secrétaire du Comité.

Rapport du Directeur du Bureau International.

Nomination des Commissions.

Discussion des Rapports des Comités Consultatifs et des Commissions :

 Définition du Mètre.

 Définition de la Seconde.

 Thermométrie.

 Électricité.

 Photométrie.

 Révision de la Convention du Mètre. Question des unités de radioactivité.

Système International d'Unités. Symboles; les préfixes pico, nano, giga, téra.

Budget pour 1959 et 1960.

Visite du caveau des prototypes.

Comités Consultatifs : Membres et prochaines réunions.

Préparation de la Conférence Générale de 1960.

Questions diverses.

47^e SESSION (1958)

PROCÈS-VERBAL

DE LA PREMIÈRE SÉANCE

TENUE AU BUREAU INTERNATIONAL

Lundi 29 septembre 1958

PRÉSIDENTENCE DE Mr A. DANJON

La séance est ouverte à 10^h.

Sont présents : MM. DANJON, ASTIN, BARRELL, DE BOER, BOURDOUN, CASSINIS, ESSERMAN, OTERO, SIEGBAHN, STULLA-GÖTZ, VIEWEG, YAMAUTI et VOLET.

Assistent à la séance : MM. PÉRARD, Directeur honoraire, TERRIEN, Sous-Directeur du Bureau; MM. ALIANAKI, du Comité des Normes de l'U. R. S. S., et WAIT, interprètes.

Excusés : MM. KARGATCHIN et VÄISÄLÄ, retenus chacun dans leur pays par d'importantes affaires; Mr Kargatchin a délégué sa voix à Mr Stulla-Götz (1).

Mr HOWLETT, retardé par un incident de voyage, ne pourra assister à cette première séance.

(1) Mr NUSSBERGER a informé Mr le Président du Comité, par lettre en date du 29 septembre 1958, qu'étant retenu par ses occupations professionnelles, il regrettait de ne pouvoir assister à la session du Comité; cette lettre n'est parvenue à Sèvres que le 17 octobre.

Après avoir souhaité la bienvenue aux Membres du Comité et constaté que le quorum était largement atteint, Mr le PRÉSIDENT évoque les pertes survenues au sein du Comité International par suite des décès de C. STATESCU, un de ses Membres les plus anciens, et de M. CHATELAIN, Membre honoraire.

Il indique ensuite que la récente adhésion de l'Inde à la Convention du Mètre a conduit le Comité International à élire dans son sein Mr K. S. KRISHNAN; cette élection, obtenue à l'unanimité à la suite d'un vote par correspondance sera, selon la règle, soumise à la ratification de la prochaine Conférence Générale.

Mr le PRÉSIDENT passé ensuite à l'Ordre du Jour et donne la parole à Mr CASSINIS, Secrétaire du Comité, pour la lecture de son Rapport.

RAPPORT DU SECRÉTAIRE DU COMITÉ

POUR LA PÉRIODE COMPRISE

ENTRE LE 1^{er} SEPTEMBRE 1956 ET LE 31 AOÛT 1958

Convention du Mètre (Adhésion, Retrait). — Au moment où le Gouvernement de la République Indienne publiait la loi du 28 décembre 1956 consacrant l'adoption des mesures métriques en Inde, nous étions informés de la décision prise par cet État d'adhérer à la Convention du Mètre. Cette adhésion, devenue effective à partir de 1957, s'inscrit dans le vaste plan des réformes entreprises par l'Inde pour moderniser ses poids et mesures et introduire progressivement l'emploi exclusif du Système Métrique.

Le Pérou nous a par contre annoncé sa décision de se retirer de la Convention, à laquelle il avait adhéré dès 1875. Malgré les interventions que nous avons faites auprès des autorités de ce Pays, ce retrait est devenu effectif à la fin de l'année 1956.

Décès. — C'est avec peine que nous avons appris la mort de notre collègue roumain le Professeur Constantin STATESCU, décédé à l'âge de 80 ans le 10 avril 1958. Depuis de nombreuses années C. STATESCU était malheureusement dans l'impossibilité d'assister à nos séances, en raison d'une pénible maladie. Mais l'intérêt qu'il a de tout temps porté à notre Institution était très grand, soit en raison de son activité comme professeur de physique générale à l'Université de Bucarest, soit par ses fonctions de Directeur Général des Poids et Mesures de Roumanie. C. STATESCU faisait partie de notre Comité depuis 1929.

Le Professeur M. CHATELAIN, élu en même temps que C. Statescu dans notre Comité, est décédé en 1957 à l'âge de 91 ans. Ayant démissionné en 1948, nous avons nommé notre collègue Membre honoraire du Comité International. M. CHATELAIN, qui était professeur d'électrotechnique à l'Institut Polytechnique de Leningrad, a joué un rôle utile au moment où le Bureau International orientait son activité dans le domaine des étalons et unités électriques.

Élection. — Pour remplir la vacance qui s'est produite dans le Comité International, une votation par correspondance a eu lieu. Les votes ont été unanimement favorables à Sir K. S. KRISHNAN, dont le nom avait été

proposé par le bureau du Comité. Par cette élection nous sommes heureux de rendre hommage à l'éminent Directeur du National Physical Laboratory of India et d'établir des contacts plus directs avec ce grand Pays, nouvel adhérent à la Convention du Mètre.

Comités Consultatifs. — Nous avons créé en 1956 un nouveau Comité Consultatif, le *Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde*, ce qui porte à cinq le nombre de ces Comités spécialisés dont les travaux contribuent grandement au développement et au rayonnement de notre œuvre. Ces cinq Comités Consultatifs se sont réunis depuis notre dernière session. Si l'on ajoute la réunion qu'a tenue la Commission pour la Révision de la Convention du Mètre, ce sont six sessions qui ont eu lieu au Pavillon de Breteuil dans l'intervalle des sessions normales de notre Comité International. Grâce au dévouement de son personnel, le Bureau International arrive à faire face au travail considérable que ces réunions entraînent; il faut néanmoins reconnaître qu'il devient nécessaire d'étendre les moyens d'action du Bureau International dans les domaines scientifique et administratif. Les Rapports qui ont été établis à la suite de ces réunions devront être étudiés au cours de la présente session avec le plus grand soin, vu l'importance des propositions qu'ils contiennent.

Coût de la vie. — Le coût de la vie en France ayant subi de nouvelles hausses ces dernières années, le Directeur du Bureau a demandé au bureau du Comité de bien vouloir prendre certaines mesures qui, nous ayant paru bien fondées, ont été appliquées comme suit :

1° L'indice de cherté de vie dit « des 213 articles », qui servait de base au calcul des indemnités de cherté de vie, ayant cessé d'être publié par l'Institut National de la Statistique, nous avons adopté l'indice établi par l'Institut d'Observations Économiques, ce nouvel indice nous ayant paru présenter toutes garanties d'objectivité.

2° Les allocations pour charges de famille, qui sont exprimées en francs français et qui devaient être modifiées fréquemment, ont été indexées. Par suite, à partir du 1^{er} janvier 1958, ces allocations sont, pour chaque enfant à charge, de 5000 francs français pour un indice de base égal à 100 en 1949.

Versements des États. — L'encaissement des contributions s'est poursuivi dans de bonnes conditions de régularité pour l'ensemble des États. L'adhésion de l'Inde à la Convention du Mètre en 1957 a apporté à notre Institution un appoint appréciable de ressources.

Les contributions du Chili et de l'Uruguay ont encore été réparties, ces États restant débiteurs d'un arriéré de plus de trois années.

Selon l'usage, on a fait figurer dans le tableau des pages 13 et 14 les versements effectués par les États pendant la période allant du 1^{er} janvier 1953 au 31 août 1958.

Don Unique. — Comme il était prévu dans mon précédent Rapport, le reliquat disponible de ce compte au 1^{er} janvier 1956, soit 40 519 francs-or, a été affecté au paiement de deux acomptes sur la commande du comparateur photoélectrique longitudinal en construction.

Ce compte est donc maintenant définitivement clos.

VERSEMENTS DES ÉTATS (afférents aux exercices 1953 à 1957).

ÉTATS.	CONTRIBUTIONS (en francs-or)					DATES DES VERSEMENTS				
	1953.	1954.	1955.	1956.	1957.	1953.	1954.	1955.	1956.	1957.
1. Allemagne { Est.....	4 581	4 761	7 713	7 567	7 567	IV 53	VI 54	V 55	I 56	II 57
	12 624	13 119	21 590	21 183	21 183	VI 53	III 54	IV 55	IV 56	V 57
2. Amérique (E.-U. d').....	26 250	27 279	44 310	45 912	45 912	II 53	IV 54	IV 55	III 56	IV 57
3. Argentine (Rép.).....	4 050	4 050	6 578	6 711	6 711	V 55	VII 55	VIII 55	XII 57	—
						XII 57		XII 54		
4. Australie.....	1 862	1 935	3 381	3 687	3 687	I 53	I 54	VI 55	I 56	XII 56
5. Autriche.....	1 588	1 650	2 765	2 860	2 860	III 53	II 54	II 55	I 56	I 57
								III 55		
6. Belgique.....	2 113	2 196	3 489	3 619	3 619	VII 53	XI 54	III 56	II 57	VII 57
7. Brésil.....		11 659	21 790	21 378	21 378			IV 56	XII 56	III 58
								XI 55		
8. Bulgarie.....	1 762	1 831	2 777	2 889	2 889	XI 53	VII 54	XI 53	III 56	VI 57
								VII 55		
9. Canada.....	3 198	3 323	6 083	6 266	6 266			I 53	XII 54	XII 55
								II 53		
10. Chili.....	1 310	1 310	2 391	2 391	2 391			XI 53	XII 55	XI 56
11. Danemark.....	1 018	1 058	1 705	1 768	1 768	XI 52	XI 53	I 56*	VII 56	VI 57
								—		
12. Dominicaine (Rép.).....		875	1 560	1 530	1 530			IV 55	VI 56	VI 57
								VI 55		
13. Espagne.....	6 950	7 222	11 069	11 507	11 507	III 54	IX 54	V 54	II 57	II 58
								VI 55		
14. Finlande.....	973	1 011	1 596	1 657	1 657	III 53	V 54	IX 54	XI 56	XII 57
								II 57*		
15. France et Algérie.....	12 383	12 868	20 629	21 387	21 387	V 53	IX 54	III-XII 55	VI 56	VI 57
								III-XII 56		
16. Hongrie.....	2 312	2 403	3 820	3 962	3 962	XI 52	XI 53	III 55	II 56	X 57
								III 55		
17. Inde.....					45 000					II 57

VERSEMENTS DES ÉTATS (afférents aux exercices 1953 à 1957) (suite).

ÉTATS.	CONTRIBUTIONS (en francs-or)					DATES DES VERSEMENTS				
	1953.	1954.	1955.	1956.	1957.	1953.	1954.	1955.	1956.	1957.
18. Irlande.....	875	909	1478	1530	1530	IX 53	II 55	XII 55	III 57	II 58
19. Italie.....	11293	11736	18524	19223	19223	IV 53	V 54	VII 56	VII 56 IV 57	XI 57
20. Japon.....	18147	18858	34073	34220	34220	VI 53	VIII 54	VII 55	VII 56	VII 57
21. Mexique.....	5518	5734	10284	10604	10604	I 54	XII 54	I 56	X 56	X 57
22. Norvège.....	875	909	1478	1530	1530	X 52	XII 53	XI 54	XII 55	X 56
23. Pays-Bas.....	2421	2516	3860	4013	4013	IX 53	V 55	V 55	XII 56	V 57
24. Pologne.....	5940	6173	9909	10273	10273	XII 53	IV 54	V 55	III 56	II 57
25. Portugal.....	1917	1992	3633	3743	3743	IV 53	II 54	II 55	III 56	III 57
26. Roumanie.....	3940	4074	6292	6540	6540	I 54	IX 54	XI 55	XI 56	X 57
27. Royaume-Uni.....	12159	12636	20093	20842	20842	XI 52	XII 53	XII 54	XI 55	XI 56
28. Suède.....	1698	1765	2854	2958	2958	XII 52	X 53	XI 54	X 55	XI 56
29. Suisse.....	1059	1101	1876	1939	1939	II 53	V 54	VII 55	VI 56	IV 57
30. Tchécoslovaquie.....	3013	3137	4954	5142	5142	I 54	VII 54	V 55	IV 56	V 57
31. Thaïlande.....	4298	4467	6961	7122	7122	XI 53	XI 54	I 56	II 57	XII 57
32. Turquie.....	4681	4864	8333	8609	8609	VIII 53	VIII 54	X 55	II 57	I 58
33. U. R. S. S.....	26250	27279	44310	45912	45912	IV 53	III 54	III 55	IV 56	III 57
34. Uruguay.....	875	909	1500	1500	1500	—	—	—	—	—
35. Yougoslavie.....	3910	4063	6726	6963	6963	I 54	X 54	VII 55	XII 56	III 57
Pérou (1).....	1949	1949	3166	3166	—	—	—	—	—	—

* L'astérisque signale que la contribution correspondante n'est pas soldée.

(1) S'est retiré de la Convention du Mètre en fin 1956.

Indications financières. — Le tableau suivant permet une appréciation de la situation financière du Bureau International.

Actif du Bureau (francs-or).

	1 ^{er} janvier 1955.	1 ^{er} janvier 1956.	1 ^{er} janvier 1957.	1 ^{er} janvier 1958.
Fonds disponibles.....	117 578,30	95 629,30	131 247,28	223 427,77
Caisse de Retraites.....	40 777,52	37 163,29	50 484,64	44 303,94
Don Unique	39 269,00	40 519,00	19 212,00	—
Amélioration du matériel scientifique.....	—	—	—	96 325,00
TOTAUX.....	197 624,82	173 311,59	200 943,92	364 056,71

Ces chiffres font apparaître, à partir du 1^{er} janvier 1957, un renversement de l'évolution vers un amoindrissement de l'actif, signalée dans les trois précédents Rapports. Le redressement est sensible, mais n'atteint cependant pas l'importance que pourrait laisser supposer le montant de l'actif au 1^{er} janvier 1958, car la somme de 96 325 francs-or figurant au titre de l'amélioration du matériel scientifique est déjà engagée dans les commandes de plusieurs appareils importants.

Signalons aussi le réajustement du taux de conversion du franc-or en francs français, opéré en fin d'année 1957. L'équivalence du franc-or est passée de 114,345 à 137,214 francs français. Ce nouveau taux a procuré une amélioration des recettes en francs français, sans toutefois combler l'écart qui demeure très important entre le taux auquel le Bureau International alimente son budget en francs français et le niveau général des prix en France, qui est de 217 en décembre 1957 sur la base de 1 en 1914.

Mr le PRÉSIDENT remercie Mr CASSINIS de son Rapport, dont les différents points seront examinés au cours de cette session.

Sur l'invitation de Mr le PRÉSIDENT, Mr VOLET commente ensuite les principaux passages du Rapport suivant.

RAPPORT DU DIRECTEUR

SUR L'ACTIVITÉ ET LA GESTION DU BUREAU
ENTRE LE 1^{er} SEPTEMBRE 1956 ET LE 31 AOÛT 1958

I. — PERSONNEL

Henri MOREAU, Assistant au Bureau International depuis 1936, a été promu Chef de Travaux par le bureau du Comité International au cours de la séance que ce dernier a tenue le 3 juin 1957.

Georges GIRARD, entré au Bureau International en 1945 comme calculateur, a été nommé Assistant le 1^{er} janvier 1957.

Michel GAUTIER, après avoir passé plus de huit années au Bureau International comme Assistant, nous a quittés le 1^{er} juin 1957 pour entrer dans l'industrie. Ce nouveau départ parmi nos Assistants pose avec acuité non seulement le problème de l'engagement de jeunes physiciens, mais aussi celui de leur fournir des occasions d'exercer leur imagination sur des sujets nouveaux. M. GAUTIER était chef de la Section d'Électricité; il a été remplacé dans ces fonctions par G. LECLERC qui, depuis une vingtaine d'années, a suivi de près les travaux de cette Section.

Toshiro MASUI a terminé le 30 septembre 1957 le stage de deux années qu'il devait faire au Bureau International. Il est retourné au Central Inspection Institute of Weights and Measures à Tokyo après avoir effectué chez nous, avec application, un travail fructueux, particulièrement en interférométrie.

Hiroyuki HIRAYAMA, de l'Electrotechnical Laboratory de Tokyo, fera à son tour un stage de deux années. Il est entré le 16 novembre 1957 et, tout en s'intéressant surtout aux mesures électriques, il participe efficacement aux différentes activités de notre Bureau.

F. LESUEUR, calculateur, est rentré le 1^{er} octobre 1957 après un congé militaire. C. GARREAU, pour le même motif, est parti le 31 octobre 1956.

Un jeune calculateur stagiaire, Jean-Marie CHARTIER, a été engagé le 19 novembre 1956.

II. — BÂTIMENTS

Grand Pavillon. — On ne pouvait envisager la réfection du bureau contigu à la salle des conférences tant que les travaux de consolidation en sous-œuvre exécutés en 1950 n'avaient pas prouvé leur efficacité quant à la

stabilisation des murs de l'angle nord-est. Ce résultat paraissant en grande partie acquis, le bureau a fait l'objet d'une remise en état complète. Le plafond qui s'était profondément lézardé sous l'effet des mouvements du gros-cœuvre, a été entièrement refait. Après dépose du parquet, dont les lames étaient affaissées ou disjointes, les murets supportant les lambourdes ont été reconstruits en ménageant un passage donnant accès aux diverses canalisations passant sous ce bureau. Un parquet neuf a été posé et les peintures ont été refaites.

Petit Pavillon. — La vétusté des locaux et l'accroissement des tâches des mécaniciens rendaient indispensable une réorganisation complète de l'atelier de mécanique. Dans la première salle, deux cloisons ont été abattues pour procurer plus d'espace en vue de la redistribution des machines et des moyens de travail; le sol en ciment, très dégradé, a été recouvert d'un carrelage en grès cérame; l'équipement électrique a été rénové et un nouvel éclairage réalisé au moyen de tubes fluorescents; la peinture du plafond et des murs a été refaite. En même temps le sol a été carrelé dans les toilettes de l'atelier et du sous-sol du bâtiment; le pavage très inégal de la courlette intérieure a été enlevé et remplacé par un revêtement en béton qui assure un parfait écoulement des eaux de pluie.

Dans la deuxième salle de l'atelier de mécanique, on a également procédé à la pose d'un éclairage fluorescent et à la réfection des peintures.

Des taches d'humidité d'origine ancienne avaient fait leur réapparition sur les murs des pièces de l'appartement de fonction, malgré le traitement expérimenté en 1952 et qui avait paru efficace. Pour masquer ces dégradations, des plaques de fibrociment, laissant une libre circulation d'air, ont été apposées contre les surfaces atteintes.

Dans le logement du gardien, un carrelage en grès cérame a été posé, en remplacement de l'ancien en fort mauvais état, sur les sols du couloir d'entrée et de la cuisine. Un meuble-évier a été substitué au vieil évier de pierre et le revêtement a été refait en carreaux de faïence.

Observatoire. — J'ai signalé, dans mon dernier Rapport (1956), l'achat d'un déshumidificateur mobile qui nous avait donné d'excellents résultats dans les caveaux où sont conservés les prototypes internationaux du Système Métrique et les prototypes d'usage du Bureau International. Mais, en temps normal, nous n'avons pas accès dans le caveau inférieur et la surveillance d'un appareil du même type, placé dans ce caveau, n'aurait pu être assurée facilement. Pour cette raison nous avons réalisé une installation comportant un groupe compresseur à fréon 12, placé dans l'entrée du caveau supérieur et relié à un caisson métallique situé dans le réduit contenant le coffre-fort. Ce caisson contient l'évaporateur et le condenseur du compresseur ainsi qu'un ventilateur.

Le caisson communique avec le caveau inférieur par deux gaines de section rectangulaire 15 × 30 cm. L'une des gaines s'arrête au plafond du caveau inférieur, tandis que l'autre descend jusqu'à 1,35 m du sol de ce caveau. Les gaines comportent à leur partie supérieure deux ouvertures réglables.

Le ventilateur tourne en permanence et assure à la fois un brassage continu de l'air des deux caveaux et son passage à travers l'évaporateur,

où la vapeur d'eau qu'il contient se condense lorsque le compresseur fonctionne. Celui-ci est commandé par un hygrostat qui offre une grande marge de réglage.

L'eau de condensation est recueillie dans la partie inférieure du caisson d'où elle s'écoule par un tube de cuivre dans le puisard profond situé sous le caveau inférieur. A la sortie de ce caisson, un robinet à trois voies commande une dérivation permettant, lorsqu'on le désire, l'écoulement de l'eau dans un récipient mobile; on a ainsi la possibilité de mesurer la quantité d'eau condensée dans un temps déterminé.

Cette installation a été mise en service le 7 mars 1957 et nous donne satisfaction; toute sa partie mécanique, qui nécessite un entretien périodique, se trouve rassemblée dans le caveau supérieur où nous avons toujours accès.

La suppression de l'humidité a permis la poursuite des travaux précédemment entamés pour améliorer l'aspect des caveaux. Leur sol et celui des paliers de l'escalier d'accès ont reçu un carrelage en grès cérame. Dans le premier caveau, un socle en ciment de 25 cm de haut a été construit sous le coffre-fort afin de mettre celui-ci à une hauteur pratique. Les murs en ciment des caveaux inférieur et supérieur, le plafond de celui-ci, toutes les portes et les marches de l'escalier ont été peints. Je pense que l'aspect du dépôt des Prototypes internationaux est actuellement aussi satisfaisant que le permet la disposition des lieux.

On a profité d'une diminution temporaire du nombre des fils et rubans à étalonner pour exécuter une remise en état du couloir de la base géodésique, long de 60 m; dans l'un des murs de ce couloir, cinq ouvertures, pratiquées autrefois pour permettre d'accéder sous nos salles d'observation, ont été maçonnées; l'accès sous les salles se fait maintenant par des passages dans le plancher. On a refait entièrement la distribution d'électricité et posé un éclairage par lampes tubulaires à incandescence. Le couloir de la base a été repeint sur toute sa longueur.

En sous-sol également, le sol en terre battue du couloir de ronde des salles de photométrie a été cimenté, pour en faciliter l'entretien et diminuer la production de poussières nuisibles.

L'aménagement de la salle 7 a été terminé. L'évacuation des eaux usées de cette salle, qui s'effectuait à travers la base géodésique, a été modifiée; elle se fait maintenant par une canalisation directe. Le socle de pierre employé comme table de distillation a été recouvert de carreaux de faïence. La pièce a été repeinte.

Par la même occasion, deux postes d'eau, à la salle 8 et dans le couloir de l'observatoire, qui n'étaient plus utilisés, ont été supprimés.

Dans la salle 5, il a été nécessaire de remédier à un affaissement du parquet. La poutraison métallique qui le supporte a été consolidée dans la mesure du possible; les points creux du parquet ont été garnis et le tout a été recouvert de planches de bois contre-plaqué, puis d'un linoléum. Un linoléum a également été posé à la salle 9.

Un réaménagement complet de la salle 2 est prévu pour la mise en place du comparateur photoélectrique en cours de construction à Genève. Les travaux préparatoires ont été entamés. Après enlèvement du comparateur universel qui occupait cette salle et qui a été transporté dans la salle 3, on procédera au vidage complet de la salle 2 et de son sous-sol, qui a autrefois été comblé de terre et de gravats. L'espace ainsi récupéré sera

précieux pour loger les installations accessoires dont le comparateur photo-électrique aura besoin.

A la salle 3, deux piliers monolithes, qui servaient à supporter l'ancien dilatomètre Fizeau et un baromètre, ont été enlevés pour permettre la mise en place dans cette salle du comparateur universel.

Ces divers aménagements ont permis un regroupement rationnel de nos instruments. Toutes nos balances sont réunies dans la salle 5, tandis que la machine à mesurer et la machine à diviser ont été placées dans la salle 4 où se trouve déjà le comparateur normal.

Dépendances. — Je rappelle que l'empierrement de la cour du Pavillon de Breteuil a été entièrement refait en 1952. Afin d'en assurer la conservation et d'en améliorer l'aspect, je l'ai fait recouvrir de bitume émulsionné et de gravillon de porphyre rose.

Pour parer à la menace d'un éboulement des terres sur le côté amont du jardin potager, un mur en béton armé a été édifié sur 25 m de longueur et 3 m de hauteur. A ce mur a été adossée, dans une bonne exposition, une serre, qu'une occasion nous a permis d'acquérir dans des conditions très avantageuses et qui complète heureusement les installations dont nous avons besoin pour assurer la décoration florale du Pavillon de Breteuil, telle que nous la réalisons aujourd'hui.

III. — INSTRUMENTS SCIENTIFIQUES

MATÉRIELS DIVERS

Mètres prototypes.

Suivant la recommandation de la Dixième Conférence Générale des Poids et Mesures, plusieurs pays ont décidé de faire munir leur Mètre national d'un tracé moderne. Ainsi, depuis la dernière session de notre Comité, les Prototypes N° 16 (Royaume-Uni), N° 18 (Allemagne Orientale), N° 6 C (Roumanie), ont été retracés, de même que la règle de 1 m en nickel N° 79 appartenant à l'Australie; l'opération est en cours d'exécution pour les Mètres N° 11 (U. R. S. S.), N° 22 (Japon), N° 19 C (Pays-Bas) et N° 1 C (Belgique). C'est la Société Genevoise d'Instruments de Physique qui effectue ce délicat travail.

La température de définition de tous les étalons en platine retracés est 20° C; cependant, un trait auxiliaire placé environ 173 μ . au-delà du trait B de la division principale (intervalle correspondant à peu près à la dilatation du platine entre 0 et 20° C) permet aussi d'avoir sur chaque prototype un étalon ajusté à 0° C.

Je tiens à signaler ici l'heureux aboutissement des démarches auxquelles notre Bureau a participé en vue de l'acquisition par l'Inde des prototypes en platine iridié du mètre et du kilogramme que possédait l'Observatoire de Paris. Le Mètre, de l'alliage Johnson-Matthey, porte le N° 4; il devra être retracé à Genève.

Kilogrammes prototypes.

A la suite de l'accord intervenu lors de l'acquisition par l'Inde d'un Kilogramme prototype en platine iridié, le Kilogramme N° 25 de l'Obser-

vatoire de Paris est devenu la propriété du Bureau International, en échange de l'attribution à l'Inde du Kilogramme N° 57 qui fait partie de l'excellente série des Kilogrammes construits ces dernières années. L'intérêt de notre Bureau était en effet plus grand que celui de l'Inde à la possession d'un étalon ancien n'ayant jamais été utilisé.

J'ajoute que d'autres Pays que l'Inde sont désireux, ou peuvent le devenir, d'acquérir des prototypes en platine iridié. Le Bureau International serait heureux de faciliter de tels arrangements avec les Pays qui pourraient disposer de Prototypes non utilisés.

Comparateurs.

J'ai signalé dans mon Rapport de 1956 qu'on éliminait les calories fournies par la pompe de circulation du *comparateur normal* au moyen d'un serpentín alimenté par l'eau de la ville. Malheureusement, l'expérience révéla bien vite que les variations de débit de cette eau de ville étaient trop importantes pour permettre d'obtenir dans les auges du comparateur une température aussi stable que nous le souhaitions. Nous avons dû faire installer dans les combles de l'observatoire un réservoir tampon, qui alimente à présent le serpentín réfrigérant uniquement par gravitation; nous avons obtenu ainsi une régularité du débit excellente.

D'autre part, les règles en cours de mesure se recouvrant d'un dépôt important, très tenace et gênant (bien que le comparateur soit toujours rempli avec de l'eau distillée), nous avons remplacé la tuyauterie en fer galvanisé qui reliait le comparateur à la pompe de circulation, tenue pour responsable, par une tuyauterie en cuivre rouge. L'amélioration est certaine, cependant un léger dépôt se produit encore et continue de faire l'objet de nos investigations.

Les objectifs des microscopes du comparateur normal ont été envoyés chez Kern, en Suisse, pour nettoyage, révision et correction (le N° 1 en particulier présentait un astigmatisme important).

La salle 4, dans laquelle se trouvent maintenant le comparateur normal, la machine à mesurer (anciennement salle 2) et la machine à diviser (anciennement salle 5), a été munie d'un chauffage électrique d'appoint. Ce chauffage, de 2 kW environ, est placé sous le plancher et est commandé par un téléthermomètre par l'intermédiaire d'un relais électronique; il permet de régler la température de la salle à 0,1 degré près.

Le *comparateur Bariquand* amélioré (la mise au point des traits est maintenant possible en cours de mesure) et soigneusement calorifugé a été mis en place définitivement salle 3.

Enfin, pour libérer la salle 2, dans laquelle sera monté le futur comparateur photoélectrique, le *comparateur universel* a été transféré à la salle 3. Après avoir arasé les deux piliers en pierre qui existaient dans cette salle pour les amener au niveau du parquet, nous les avons réunis par une dalle en ciment armé pour supporter le comparateur; cette dalle, épaisse de 19 cm, est ajourée afin de faciliter la circulation de l'air et l'établissement de son équilibre thermique avec l'atmosphère de la salle, et constitue un pont qui repose sur les piliers par l'intermédiaire de plaques en liège d'environ 8 cm d'épaisseur. Ces plaques isolent thermiquement le comparateur du sol.

Un chauffage électrique de régulation, analogue à celui qui a été expérimenté à la salle 4, sera installé dans la salle 3.

Balances.

A la suite du regroupement de nos balances à la salle 5, on a dû démonter partiellement certaines balances pour les nettoyer, reviser quelques mécanismes qui ne fonctionnaient plus parfaitement et procéder à un nouveau réglage. Nous manquons malheureusement de place pour installer quelques balances anciennes, mais qui pourraient encore nous rendre des services.

Base géodésique.

Les poulies utilisées pour transmettre aux fils géodésiques la traction sous laquelle ils sont mesurés, doivent présenter le minimum de frottement. Celles qui avaient été fournies au Bureau International avec la base installée en 1925 montraient, après un long usage, des signes évidents de fatigue qui nous ont conduits à faire construire deux nouvelles poulies par la S. I. P., à Genève. Ces nouvelles poulies comportent quelques perfectionnements dictés par l'expérience et elles présentent une grande sensibilité; les roulements à billes utilisés dans les anciennes poulies ont été remplacés dans le nouveau modèle par des galets de 5 mm de diamètre et de même longueur, construits spécialement et avec le plus grand soin. Ces poulies sont aussi plus légères que les anciennes, ce qui rend leur déplacement plus facile.

Électricité.

Le National Standards Laboratory d'Australie a offert gracieusement au Bureau International un instrument spécial de passage de 1 à 100 Ω , conçu et réalisé par ses physiciens. Je tiens à remercier ici le N. S. L. en la personne de son Directeur, notre collègue Mr Esserman.

Cet instrument, constitué essentiellement par 10 bobines en manganine de 10 Ω que l'on peut connecter à volonté en série ou en parallèle (la valeur de la résistance dans le premier cas valant exactement 100 fois celle de la résistance obtenue dans le second), a déjà fait l'objet d'une étude importante au Bureau International (voir p. 35).

Poursuivant la réalisation d'étalons de résistance en métaux purs, nous avons construit un nouvel « ohm » en platine et un « ohm » à mercure (voir p. 37).

Une nouvelle cuve thermostat pour l'étude des coefficients de température des étalons de résistance et des éléments Weston entre 10 et 30° C, est en cours de réalisation.

Interférométrie.

Plusieurs appareils ont été acquis pour les besoins de l'interférométrie :

Un réseau plan de diffraction de Bausch et Lomb, à 600 traits au millimètre, tracé sur 102 \times 127 mm; l'angle de « blaze » est 28° et correspond à la longueur d'onde de 1,6 μ dans le premier ordre. Ce réseau a été offert gracieusement par le constructeur, sur l'aimable initiative de Mr Astin et par l'intermédiaire du National Bureau of Standards. Nous devons de

vifs remerciements à ces bienfaiteurs, pour cet instrument qui sera très utile. En effet, ce réseau sera la partie essentielle d'un monochromateur en montage Ebert avec deux miroirs concaves. Utilisé dans le troisième ordre pour le visible, il permettra de doubler l'étendue géométrique des faisceaux monochromatiques, par rapport à l'étendue fournie par notre monochromateur actuel à prismes liquides; l'avantage sera surtout sensible dans l'infrarouge dans le deuxième ordre aux longueurs d'onde 0,8 à 1 μ , où le gain escompté est supérieur à un facteur 7.

Nous avons acheté à l'Observatoire de Paris un photomultiplicateur A. Lallemand à 19 étages, à cathode césium-antimoine, dont le bruit de fond, à peu près égal à l'effet grenaille théorique, est encore plus petit que celui du photomultiplicateur, déjà excellent, offert précédemment par G. Boutry. Un autre photomultiplicateur de Lallemand à 12 étages, à cathode césium-argent pour l'infrarouge, est aussi à notre disposition.

Un second cryostat à vide a été acheté à Heinrich (Braunschweig) pour la mise en fonctionnement des lampes à krypton 86 de E. Engelhard, ainsi qu'une pompe à vide Edwards pour réduire la pression au-dessus de l'air liquide.

Nous avons reçu du N. B. S. une seconde lampe à mercure 198 sans électrodes, N° 117, à enveloppe de Vycor, contenant 1 mg de mercure et de l'argon sous la pression de 3 mm Hg. La première lampe semblable, offerte également par le N. B. S. en octobre 1948, est toujours en état de fonctionnement. Pour l'excitation de ces lampes, un générateur d'ondes entretenues à fréquence réglable entre 100 et 500 MHz a été construit, sous une forme semblable à celle qui est décrite dans mon Rapport de 1954, mais enfermé cette fois dans un blindage métallique afin de réduire le rayonnement qui troublait le fonctionnement d'amplificateurs photo-électriques.

Enfin, plusieurs lampes à krypton 86, à cathode chaude et sans électrodes, et une lampe à xénon 136, nous ont été offertes par la P. T. B.

Divers.

Le Bureau International a prêté au Centre Européen pour la Recherche Nucléaire (C. E. R. N.) à Genève, la règle de 4 m en invar désignée I 4. Cet étalon ancien n'était plus utilisé par nous; cependant, après la rénovation dont le C. E. R. N. a pris la charge et dont nous avons établi le plan, la règle I 4 pourra de nouveau être utile pour nos mesures d'étalons géodésiques.

La chaudière pour l'étuvage du fil en invar a été munie d'un chauffage électrique, en remplacement du chauffage au gaz de ville; le fil et les résistances chauffantes sont immergés dans de l'huile de colza; la température est contrôlée et stabilisée par un dispositif automatique. Nous avons profité de ces modifications pour installer la chaudière dans un local des communs.

Dès la mise en fonctionnement de cette installation, nous avons procédé à l'étuvage d'une nouvelle coulée d'invar de 132 kg (coulée N° 80 906, 20^e livraison), que nous avons maintenue à 76° C pendant un mois avant de la ramener très lentement (en trois mois) à la température ambiante.

Je signale encore les acquisitions suivantes :

— 1 galvanomètre Vérispot (Sefram) type LT 1, sensibilité 12. 10⁻⁹ A/mm, pour équiper le comparateur normal;

— 5 téléthermomètres Fournier, dont trois sont déjà en service (étuyage du fil invar, salles 4 et 14) et deux sont prévus pour les salles 3 et 16;

— 6 relais électroniques (cinq pour équiper les téléthermomètres et un pour le dispositif d'assèchement du caveau).

Le National Physical Laboratory nous a par ailleurs gracieusement offert une ampoule à point triple de l'eau, spécialement adaptée pour la détermination du point zéro des thermomètres à mercure.

IV. — TRAVAUX

Mètres prototypes.

Durant les deux années écoulées depuis la dernière session de notre Comité, le Bureau International a effectué un grand nombre de déterminations de prototypes nationaux.

Il a procédé en outre à plusieurs intercomparaisons de ses propres étalons de référence, entre eux ou avec \mathfrak{M} , qui l'ont conduit à modifier les équations fondamentales admises depuis 1939 pour ces étalons. Une partie de ces travaux a déjà fait l'objet d'un rapport au Comité Consultatif pour la Définition du Mètre qui s'est réuni à Sèvres en septembre 1957 (1). Nous résumerons ici les résultats obtenus.

En septembre et octobre 1956, les prototypes d'usage du Bureau International T 3 et N° 19, qui venaient d'être retracés en 1956 à Genève, furent comparés à \mathfrak{M} afin de déterminer leurs nouvelles équations. Ces mesures, effectuées par quatre observateurs (MOREAU, LECLERC, J. BONHOURE, GIRARD), ont donné les résultats suivants

$$\begin{aligned} T 3 &= 1 \text{ m} - 0,24 \mu \text{ à } 0^\circ\text{C}, \\ \text{N}^\circ 19 &= 1 \text{ m} + 0,36 \mu \quad \text{»} \end{aligned}$$

Nous avons pu alors entreprendre l'étude des Mètres nationaux en dépôt au Bureau à cette époque, en les comparant à nos quatre prototypes de référence : N° 13 et N° 26 (rattachés à \mathfrak{M} en 1939), T 3 et N° 19 (redéfinis ci-dessus). On a obtenu les valeurs suivantes à 0° C.

TABLEAU I

Mètre	Résultats moyens d'après			Δ
	N° 13 et N° 26	T 3 et N° 19		
N° 6 C (avant retraçage).....	1 m + 1,51 μ	1 m + 1,74 μ		- 0,23 μ
N° 11 (avant retraçage).....	- 0,52	- 0,45		- 0,07
N° 16 (après retraçage).....	- 1,00	- 0,74		- 0,26
N° 22 (avant retraçage).....	- 0,95	- 0,55		- 0,40
N° 27.....	- 1,44	- 1,22		- 0,22
		Moy.		- 0,24 μ

L'allure systématique des différences Δ est frappante. Elle prouvait un désaccord entre les équations des prototypes du Bureau International.

(1) Résultats des récentes déterminations de Mètres prototypes effectuées au Bureau International (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 26-B, 1958, p. M 41).

Pour rechercher les causes de ce désaccord, quatre observateurs (Mo, Lc, Jb, Gi) effectuèrent chacun, au cours des six premiers mois de 1957, les comparaisons en série fermée des prototypes suivants

- a. N° 13, N° 19, N° 26, T 3 et H;
 b. N° 13, N° 26, N° 15 et T 4.

Deux des observateurs (Lc, Gi) complétèrent ensuite ce travail en comparant entre eux les Mètres N° 19, T 1, T 2 et T 3.

De l'ensemble de ces mesures nous avons déduit les nouvelles valeurs suivantes à admettre désormais pour nos prototypes d'usage.

TABLEAU II

Valeurs des prototypes d'usage du B. I. P. M.

N° 13	= 1 m + 0,25 μ	à 0°C
N° 26	= 1 m - 0,30	»
N° 19 ₍₀₎	= 1 m + 0,26	»
N° 19 ₍₂₀₎	= 1 m + 0,25	à 20°C
T 3 ₍₀₎	= 1 m - 0,28	à 0°C
T 3 ₍₂₀₎	= 1 m - 0,26	à 20°C

Je rappelle que lorsqu'une même règle porte deux traits à son extrémité B, le premier trait définissant un « Mètre » à 20°C et le second un « Mètre » à 0°C (c'est le cas de N° 19 et de T 3), la valeur de l'étalon défini à 20°C est déduite de celle attribuée à l'étalon défini à 0°C en mesurant l'intervalle compris entre les deux traits et en tenant compte du coefficient de dilatation de l'alliage qui constitue la règle. La mesure de cet intervalle d'environ 173 μ est effectuée par quatre observateurs qui utilisent plusieurs microscopes micrométriques soigneusement étalonnés. Les résultats sont généralement très concordants.

Les équations de tous les étalons de longueur étudiés par le Bureau International depuis le 1^{er} septembre 1956 (en particulier celles des Mètres nationaux) ont été calculées en utilisant pour nos prototypes de référence les nouvelles équations du tableau II.

Les résultats des comparaisons effectuées de 1956 à 1958 sur divers Mètres nationaux sont rassemblés dans le tableau III.

Mètre N° 27, États-Unis d'Amérique. — Ce Mètre a été mesuré une première fois pendant l'été 1956. A cette époque on lui attribua la valeur 1 m - 1,33 μ à 0°C (moyenne des résultats du tableau I), que la redéfinition de nos prototypes d'usage ramena ultérieurement à 1 m - 1,30 μ à 0°C.

Au cours de cette détermination, le Mètre N° 27 fut malheureusement souillé, sans que nous nous en apercevions, par un dépôt consécutif à son immersion pendant quelques jours dans l'eau de notre comparateur normal; ce dépôt rendit la mesure de ce Mètre impossible au N. B. S. où les observations sont faites dans l'air.

Après avoir été minutieusement nettoyé au N. B. S., le Mètre N° 27 fut renvoyé au Bureau International. De nouvelles comparaisons en octobre et novembre 1957 conduisirent à l'équation suivante

$$N^{\circ}27 = 1\text{ m} - 1,45\ \mu \text{ à } 0^{\circ}\text{C},$$

TABLEAU III

Mètre N° 1 C Belgique	}	<u>Avant</u> retraçage (1958) : 1 m + 8,84 μ à 0°C
		(En 1889 : 1 m + 8,34 μ)
	}	Ce Mètre est en cours de retraçage.
Mètre N° 6 C Roumanie		<u>Avant</u> retraçage (1956) : 1 m + 1,66 μ à 0°C
		(En 1936 : 1 m + 1,68 μ)
	}	<u>Après</u> retraçage 6 C(0) : 1 m + 1,28 μ à 0°C
		(1958) 6 C(20) : 1 m + 1,37 μ à 20°C
Mètre N° 17 C Laboratoire Central de l'Armement, Paris	}	En 1957 : 1 m + 0,38 μ à 0°C
		(En 1892 : 1 m + 0,20 μ)
	}	Ce Mètre est en dépôt au B.I.P.M.
Mètre N° 19 C Pays-Bas		<u>Avant</u> retraçage (1957) : 1 m + 8,98 μ à 0°C
		(En 1921 : 1 m + 9,17 μ)
	}	Ce Mètre est en cours de retraçage.
Mètre N° 22 C Observatoire de Paris		En 1957 : 1 m + 1,60 μ à 0°C
		(En 1892 : 1 m + 1,53 μ)
Mètre N° 4 Inde	}	<u>Avant</u> retraçage (1957) : 1 m - 1,28 μ à 0°C
		(En 1889 : 1 m - 1,09 μ)
		1922 : 1 m - 1,14 μ)
	}	Ce Mètre, qui appartenait à l'Observatoire de Paris, a été cédé au Gouvernement de l'Inde en août 1958; il sera muni d'un nouveau tracé.
Mètre N° 11 U.R.S.S.		<u>Avant</u> retraçage (1956) : 1 m - 0,45 μ à 0°C
		(En 1889 : 1 m - 0,54 μ)
	}	Ce Mètre, dont le trait A est particulièrement mauvais (dissymétrique), est en cours de retraçage.
Mètre N° 16 Royaume-Uni		<u>Avant</u> retraçage (1956) : 1 m - 0,53 μ à 0°C*
		<u>Après</u> retraçage 16(0) : 1 m - 0,84 μ à 0°C
		(1956) 16(20) : 1 m - 0,54 μ à 20°C
Mètre N° 18 Allemagne (zone Est)	}	<u>Avant</u> retraçage (1956) : 1 m - 1,58 μ à 0°C*
		<u>Après</u> retraçage 18(0) : 1 m - 1,40 μ à 0°C
		(1957-58) 18(20) : 1 m - 0,27 μ à 20°C
Mètre N° 22 Japon	}	<u>Avant</u> retraçage (1956) : 1 m - 0,75 μ à 0°C
		(En 1889 : 1 m - 1,16 μ)
		1921 : 1 m - 0,78 μ)
	}	Ce Mètre est en cours de retraçage.
Mètre N° 23 Allemagne (zone ouest)		<u>Après</u> retraçage 23(0) : 1 m + 0,52 μ à 0°C*
		23(A) : 1 m + 0,90 μ à 20°C*
		(1955) 23(B) : 1 m + 0,64 μ à 20°C*

* Les équations des Mètres N°s 16, 18 et 23, déterminées entre 1954 et 1956 (Procès-Verbaux C.I.P.M., 25, 1956, p. 20-21), ont été recalculées ici sur la base des nouvelles valeurs attribuées aux prototypes d'usage du Bureau International (Tableau II).

en excellent accord avec les valeurs obtenues antérieurement

en 1889 :	1 m — 1,49 μ à 0°C
1903 :	— 1,46
1922 :	— 1,48

La valeur trouvée en 1956 (1 m — 1,30 μ) était par conséquent erronée, la variation apparente de longueur du prototype étant causée par une modification d'aspect de ses traits due au dépôt parasite.

Cette expérience involontaire démontre une nouvelle fois la faiblesse des tracés anciens peu profonds et surtout irréguliers; l'altérabilité de tels traits rend incertaine l'interprétation des petites variations constatées sur quelques étalons en platine iridié.

Nous sommes certains que les tracés modernes, beaucoup moins fragiles, permettent d'obtenir une bien meilleure concordance des mesures.

Le Mètre I 1, dont le Bureau International est devenu propriétaire après l'échange que j'ai signalé dans mon Rapport de 1956 (p. 16), et que nous avons fait diviser en millimètres sur toute sa longueur, a été utilisé dans nos expériences pour la détermination absolue de g par la méthode de la chute des corps. La longueur totale de I 1 a été vérifiée à plusieurs reprises; après un choc accidentel très brutal subi par ce Mètre dans notre appareil de chute, sa longueur a été trouvée diminuée de 0,8 μ .

Longueurs diverses.

(A. BONHOURE, G. LECLERC, G. GIRARD, H. HIRAYAMA).

Règles. — Les règles N° 4028 en acier à 58 % de nickel et N° 79 en nickel, du National Standards Laboratory (Australie), ont été comparées à nos étalons; on a trouvé

$$\text{N}^{\circ} 4028 = 1 \text{ m} - 3,02 \mu \text{ à } 0^{\circ}\text{C};$$

par rapport à la valeur obtenue en 1948 (1 m — 2,19 μ), le raccourcissement observé est normal pour l'alliage à 58 % de nickel.

Pour la règle N° 79, retracée récemment sur toute sa longueur, nous avons trouvé

$$\text{N}^{\circ} 79 = 1 \text{ m} + 2,11 \mu \text{ à } 20^{\circ}\text{C}.$$

Nous avons en outre effectué sur cette règle N° 79 l'étalonnage des traits décimétriques, des traits centimétriques des premier et dernier décimètres, des traits millimétriques des centimètres (0-1) et (91-92) et des dixièmes de millimètre des millimètres (0-1) et (914-915). Cette règle permet de passer commodément du yard au mètre.

L'équation de la règle N° 306 en nickel, du National Research Council (Canada), a été redéterminée; la nouvelle valeur obtenue traduit un léger allongement de cet étalon comme en témoigne le tableau suivant

N° 306 à 0°C	
1921.....	1 m + 16,64 μ
1924.....	+ 16,95
1929.....	+ 16,90
1948.....	+ 16,94
1957.....	+ 17,13

Le Bureau International a étudié également une règle de 1 m en acier, N° 426, appartenant à l'Office National des Mesures de Hongrie; en plus de la longueur totale, on a déterminé le coefficient de dilatation et la position de tous les traits centimétriques.

Nous avons refait, à titre de contrôle, l'équation d'une de nos plus anciennes règles, N° 48, en acier à 44 % de nickel, dont le raccourcissement se poursuit régulièrement depuis 1903.

Signalons enfin l'ajustage par nos soins, à la valeur de 2 mètres, d'un étalon de longueur réglable, utilisé par la Société Optique et Précision, de Levallois.

Étalons à bouts. — Une série de 16 broches en acier, de 1 cm à 1 m, appartenant à la Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée, a été soumise à notre contrôle.

A cette occasion, quelques-unes de nos broches étalons ont été remesurées à l'aide des interférences lumineuses. Les résultats obtenus (excès sur la valeur nominale à 0° C), ainsi que les valeurs admises précédemment pour ces broches, sont donnés ci-après (les valeurs de 1909 ont été obtenues par des méthodes de mesure mécaniques, et non interférentielles).

BR AP 1901	}	20 mm.....	+ 0,62 μ en 1957	+ 0,19 μ en 1927
		30	+ 2,89	+ 1,49 1922
		40	+ 1,19	+ 0,39 1909
		50	+ 0,69	— 0,20 1909
		100	— 0,15	— 0,23 1943
STA 22	25 mm.....	+ 0,07	— 0,04 1927	

Règle et fils géodésiques. — Les mesures de *g*, qui sont effectuées depuis quelques années dans la salle 1 où se trouve le comparateur géodésique de 4 m, n'ont pas permis depuis quelque temps d'utiliser régulièrement cet instrument pour mesurer la règle de 4 m en invar, I 5, qui constitue notre étalon de référence pour les déterminations des fils et rubans géodésiques.

Pour remédier provisoirement à cet empêchement nous avons effectué, en novembre 1956, une mesure de I 5 par une série de comparaisons mètre par mètre, avec la règle en invar N 1, de 1 m, faites directement sur notre base géodésique à l'aide de deux microscopes fixés à 1 m l'un de l'autre. Une vérification des résultats obtenus a été fournie par une comparaison directe des intervalles (0-2) et (2-4) de la règle I 5, observés alternativement avec deux microscopes placés à 2 m l'un de l'autre.

Une mesure de contrôle moins complète de la règle I 5 avait déjà été exécutée dans des conditions analogues en octobre 1949, à titre d'essai (*Procès-Verbaux*, 22, 1950, p. 25).

Les résultats de la mesure de novembre 1956 sont les suivants

Valeur de la règle I 5, à 0°C

Intervalle (0-1) = 1 m + 16,96 μ	}	(0-2) = 2 m + 31,18 μ
» (1-2) = 1 m + 14,22		
» (2-3) = 1 m + 4,34		(2-4) = 2 m + 10,43
» (3-4) = 1 m + 6,09		
» (0-4) = 4 m + 41,61 μ		(0-2) — (2-4) = + 20,75 μ
Comparaison directe des intervalles		(0-2) — (2-4) = + 20,78 μ

Cette règle, qui s'était montrée assez stable de 1947 à 1951, s'allonge à nouveau de 1μ environ par an.

La longueur de la règle N1 a été elle-même déterminée en novembre-décembre 1956 par comparaison avec les prototypes T 3 et N° 26, à l'aide du comparateur normal. A cette occasion, on a fait une nouvelle mesure des intervalles de 250μ limités à chaque extrémité de la règle par les traits principaux et les deux traits supplémentaires qui les encadrent.

Les études de fils et rubans géodésiques ont été encore très nombreuses jusqu'au début de l'année 1958, surtout à cause des demandes de la Chine, mais aussi de celles émanant d'Autriche, du Brésil, de Bulgarie, d'Espagne, de France, des Pays-Bas, du Portugal, de Syrie, de Yougoslavie. Depuis le 1^{er} septembre 1956, nous avons étudié 423 fils ou rubans de différentes longueurs (4, 6, 8, 20, 24 m). C'est le nombre le plus élevé d'étalons géodésiques qui aient été mesurés au Bureau au cours d'une période de deux années.

Ruban voyageur BIPM N° 2. — Ce ruban d'invar de 24 m, dont j'ai parlé dans mon Rapport de 1956 et que nous désirons faire circuler dans les Laboratoires spécialisés pour juger de la concordance des mesures de dilatation effectuées sur des étalons géodésiques, avait été étudié au N. B. S., à Washington, après sa mesure initiale au Bureau International. Il a été soumis ensuite à l'examen du N. P. L., à Teddington, puis du N. S. L., à Chippendale (Australie). Il sera envoyé prochainement à l'Institut Central de Recherches Scientifiques de Géodésie, Aérophotographie et Cartographie, à Moscou.

On a obtenu jusqu'à présent les résultats suivants pour les coefficients de dilatation du ruban BIPM N° 2.

Date	Laboratoire	Mesures entre	$\alpha_0 \cdot 10^6$	$\beta \cdot 10^9$	$\alpha_{25} \cdot 10^6$	Allongement du ruban entre 10 et 40°C
Avril-mai 1955	B. I. P. M.	4-41°C	+0,325	+1,45	+0,397	+286 μ
Décembre 1955	N. B. S.	12-42	+0,400	+0,22	+0,412	+297
Juin 1956	N. P. L.	3-40	+0,357	+1,26	+0,420	+302
Février 1957	B. I. P. M.	4-41	+0,344	+1,40	+0,414	+298
Avril 1958	N. S. L.	20-40	+0,336	+2,45	+0,458	+330

Si l'on considère les trois premiers Laboratoires qui ont opéré sur des intervalles de température assez comparables, la différence maximum de 16μ entre les allongements mesurés au B. I. P. M. en 1955 et au N. P. L. en 1956 est satisfaisante, surtout si l'on remarque qu'elle est dans le sens d'un accroissement, maintes fois observé, de la dilatabilité de l'invar dans le cours du temps.

Les mesures du N. S. L., effectuées sur un intervalle de température moins étendu et dans des conditions peut-être moins favorables, conduisent cependant à un résultat qui s'écarte peu de ceux des autres Laboratoires.

On a déterminé accessoirement la longueur du ruban librement suspendu et soumis à une traction de 10 kgf (98,07 N). Mais les résultats de ces mesures, effectuées à des époques assez éloignées, sont d'un moindre intérêt à cause de l'instabilité du ruban qui n'a pas été soumis à un étuvage préalable.

En particulier, l'interprétation des résultats obtenus au B. I. P. M. et au N. B. S., qui avait été proposée dans mon Rapport de 1956, paraît maintenant d'autant plus fragile que ces résultats s'accordent mal avec ceux des mesures ultérieures. Il semble qu'on doive retenir seulement les moyennes des valeurs obtenues dans les divers Laboratoires du 6 mars 1956 au 11 janvier 1957 d'une part, et celles qui sont issues des mesures effectuées entre le 21 décembre 1957 et le 20 juin 1958 d'autre part. Ces moyennes sont reproduites ci-dessous :

Dates moyennes	Laboratoires	Valeurs du ruban à 15° C
6-7 mars 1956	N. B. S.	24 m +187 μ
14 mai 1956	B. I. P. M.	+217
5 sept. 1956	N. P. L.	+252
31 déc. 1956	B. I. P. M.	+287
30 janvier 1958	B. I. P. M.	+303
5 mai 1958	N. S. L.	+332
19 juin 1958	B. I. P. M.	+326

La figure 1 montre que les résultats du N. B. S., du N. P. L. et du B. I. P. M. sont bien concordants, compte tenu d'un allongement du ruban de 9 μ par mois (d'après les mesures faites au B. I. P. M.). On constate par contre un petit écart, inférieur au millionième, entre les valeurs du N. S. L. et du B. I. P. M.

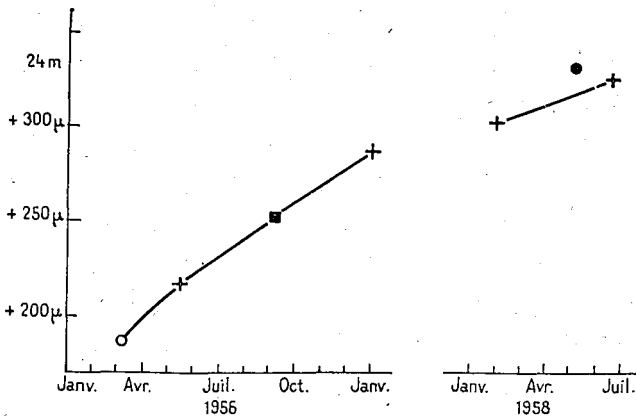


Fig. 1.

Les comparaisons internationales d'une série de rubans géodésiques que nous avions envisagées (*Procès-Verbaux*, 25, 1956, p. 25), n'ont pas encore eu de suite. En effet, nous pensions pouvoir nous procurer des rubans d'invar présentant les mêmes qualités que les fils quant à leur dilatabilité et leur stabilité. Malheureusement, les Acieries d'Imphy qui élaborent notre invar ont des difficultés à produire de tels rubans. Le laminage n'entraîne pas, semble-t-il, un écrouissage aussi important que le tréfilage et c'est pourquoi notre ruban voyageur BIPM N° 2 a une dilatation posi-

tive sans même avoir été étuvé. Le problème posé ne semble cependant pas insoluble et les Aciéries d'Imphy ont promis de reprendre cette question.

Avantages et inconvénients des fils et des rubans. — Nous avons effectué auprès de quelques Instituts spécialisés et de constructeurs une enquête au sujet des mérites respectifs des fils et des rubans géodésiques. On trouvera à l'Annexe 4, p. 117, une synthèse des réponses reçues, d'où il semble difficile de tirer des conclusions formelles.

Masses et densités.

(A. BONHOURE, J. BONHOURE, G. GIRARD).

Kilogrammes prototypes. — Les mesures faites avec les prototypes d'usage du Bureau International, les Kilogrammes Nos 9 et 31, montraient depuis quelques années qu'il existait un petit désaccord entre les valeurs attribuées à ces étalons, créant ainsi une légère incertitude dans les résultats des comparaisons. Nous avons profité de ce que les témoins du Kilogramme international étaient déposés dans la salle 5 pour faire une nouvelle détermination de nos prototypes Nos 9 et 31 et en même temps du No 25. Ce dernier Kilogramme, qui est devenu la propriété du Bureau International dans les conditions que j'ai signalées plus haut (p. 19), aura le rôle de prototype d'usage exceptionnel, à la place du Kilogramme No 58 dont l'ajustage n'a pu être entrepris jusqu'à présent (*).

Chacun des trois Kilogrammes Nos 9, 25 et 31 a été comparé aux six témoins K 1, Nos 7, 8 (41), 32, 43, 47, après nettoyage et lavage de ceux-ci. On s'est aperçu alors que les valeurs des Kilogrammes Nos 9, 25 et 31, déduites des comparaisons avec le témoin No 47, étaient systématiquement plus fortes, de + 0,026 mg en moyenne, que celles qui étaient fournies par les comparaisons avec les autres témoins.

Valeurs attribuées aux Kilogrammes prototypes du Bureau International
(excès, en milligramme, sur la valeur nominale)

		1946	1957	Δ	
Témoins	}	K 1	+0,098		
		N° 7	-0,499		
		N° 8 (41)	+0,300		
		N° 32	+0,107		
		N° 43	+0,306		
		N° 47	+0,405	+0,376	-0,029
		1949-1951			
Prototype d'usage exceptionnel	}	N° 25	+0,138	+0,157	+0,019
Prototypes d'usage	}	N° 9	+0,278	+0,287	+0,009
		N° 31	+0,087	+0,117	+0,030

On a donc décidé d'effectuer de nouvelles comparaisons, dans toutes les combinaisons possibles, des six témoins pris deux à deux. Ces compa-

(*) *Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 25, 1956, p. 142.

raisons ont montré que, par rapport à la valeur moyenne des cinq témoins K 1, N^{os} 7, 8 (41), 32 et 43, supposée inchangée depuis 1946, la masse du témoin N^o 47 a varié de — 0,029 mg depuis cette date. Aucune explication tout à fait satisfaisante n'a pu être trouvée à cette variation. Les Kilogrammes N^{os} 43 et 47 sont issus du même lingot (coulée Lyon-Alemand de 1938); le N^o 43, qui n'a pas varié, a été prélevé à un bout du lingot, et le N^o 47 au milieu.

Le Kilogramme prototype N^o 40, appartenant à la Suède, a été soumis à un contrôle à la suite d'une anomalie qui avait été constatée après la détermination au Bureau International, en 1955, d'un Kilogramme en laiton doré (R) appartenant à l'Administration des Monnaies du Service des Poids et Mesures de Stockholm.

Cette comparaison de contrôle du Kilogramme N^o 40, effectuée en octobre 1956 par rapport aux prototypes du Bureau N^{os} 9, 25 et 31, a donné le résultat suivant à rapprocher de la valeur admise en 1948 à la suite de la deuxième vérification périodique des prototypes nationaux (*Comptes Rendus de la Neuvième Conférence Générale des Poids et Mesures*, 1948, p. 43)

Kilogramme N ^o 40	{	1948.....	1 kg — 0,039 mg
		1956.....	1 kg — 0,053 mg.

Nous avons estimé que la valeur de 1948 ne devait pas être modifiée, la comparaison de contrôle de 1956 n'ayant pas eu l'importance des mesures de 1948.

Le Kilogramme prototype N^o 26, appartenant à l'U. R. S. S. et qui n'avait jamais été rapporté à Sèvres depuis son attribution à l'Académie de Saint-Pétersbourg en 1889, a été comparé, avant tout nettoyage, aux prototypes N^{os} 9 et 31 puis, après nettoyage et lavage à la vapeur d'eau, aux prototypes N^{os} 9, 25 et 31 du Bureau.

On a trouvé que le nettoyage-lavage du Kilogramme N^o 26 avait modifié sa masse de — 0,058 mg. Les valeurs ancienne et actuelle de ce prototype sont

Kilogramme N ^o 26	{	1889.....	1 kg — 0,032 mg
		1957.....	1 kg — 0,016 mg.

L'action importante du lavage à la vapeur d'eau est ainsi, une nouvelle fois, mise en évidence par les mesures faites sur ce Kilogramme.

Un nouvel étalonnage de la série de masses de premier ordre en platine iridié du Bureau International vient d'être effectué; le précédent étalonnage avait été exécuté en 1943-1944.

Étalons divers. — Les étalons suivants :

— un Kilogramme en laiton doré (R) et un Kilogramme en acier inoxydable (MJV 2) appartenant à l'Administration Suédoise des Monnaies,

— un Kilogramme en baros, appartenant à la Bulgarie,

ont été comparés à nos prototypes N^{os} 9 et 31 en un même groupe de mesures, en août et septembre 1956.

On a constaté que la masse du Kilogramme en baros, qui avait été déterminée initialement en 1910, a diminué de — 1,42 mg, soit d'environ — 0,03 mg par année. Cette variation est du même ordre de grandeur que celle qui a été maintes fois observée sur d'autres Kilogrammes

en baros non recuits sous vide. C'est une des raisons pour lesquelles cet alliage n'est plus utilisé pour la construction des étalons de masse.

Je signale encore parmi les déterminations courantes :

— étalonnage d'une série de masses de 500 mg à 1 mg (Direction Générale de la Métrologie, Bucarest);

— détermination du volume et de la masse d'un Kilogramme en acier inoxydable (Service des Poids et Mesures de l'Iran).

Pesées hydrostatiques; fil de suspension. — On sait l'importance que présente, pour la précision des pesées hydrostatiques, l'amortissement provoqué par le ménisque qui se forme autour du fil de suspension, à la surface de l'eau. Plusieurs physiciens ont indiqué dans le passé différents procédés capables d'atténuer cet amortissement; depuis les expériences de P. Chappuis sur la détermination du volume du kilogramme d'eau, on utilise au Bureau International la méthode qui consiste à former un dépôt poreux de noir de platine sur le fil de suspension, lui-même en platine, permettant à celui-ci d'être mouillé par l'eau.

Nous avons effectué une série de mesures avec des fils de platine et d'acier inoxydable de différents diamètres préparés selon ce procédé, afin de préciser dans quelles conditions ce dépôt de noir de platine donne les résultats les plus favorables. Une note sur ces expériences est publiée à l'Annexe 5, p. 122.

Comparaisons internationales de la densité d'un cylindre. — La détermination, dans divers Laboratoires nationaux, de la densité d'un cylindre de 1 kg en acier inoxydable, n'a donné lieu à aucun nouveau résultat depuis mon Rapport de 1956 (*Procès-Verbaux*, 25, 1956, p. 27). Les prochaines déterminations de ce cylindre doivent être effectuées au N. B. S. à Washington où il a été envoyé, puis au N. R. C. à Ottawa et au N. S. L. à Chippendale, ces deux Laboratoires ayant également exprimé le désir de participer à ces mesures.

Densité relative du mercure et de l'eau. — Deux déterminations préliminaires ont été effectuées suivant la méthode picnométrique, décrite dans mon Rapport de 1954, p. 32. La valeur obtenue à 17,7° C pour le rapport des masses volumiques du mercure et de l'eau (13,569 48), est manifestement trop faible (de 20 à 30. 10⁻⁶). Les causes d'erreur pourraient être recherchées dans la qualité de l'eau utilisée (eau déminéralisée, mais contenant des bactéries et des éléments pyrogènes); de plus, le mercure, bien qu'introduit sous vide dans les picnomètres, paraissait contenir encore quelques traces d'eau. Seules de nouvelles déterminations, en utilisant de l'eau de plus grande pureté organique et en apportant un soin plus grand à la dessiccation du mercure, permettront d'obtenir une valeur précise de la densité relative du mercure et de l'eau suivant la technique mise au point. Le manque de balance de capacité suffisante pour effectuer ce travail en retarde aussi l'achèvement.

Thermométrie.

(H. MOREAU, G. GIRARD).

Thermomètres en quartz fondu. — L'intérêt que présente le quartz fondu

pour la fabrication de thermomètres à mercure de précision a continué de retenir notre attention. Aucun nouveau thermomètre n'a toutefois pu être construit, le fabricant français de tiges capillaires en quartz n'ayant pas donné suite à nos demandes répétées.

Ce problème a été également étudié par une société anglaise en liaison avec le National Physical Laboratory; des résultats très satisfaisants ont déjà été obtenus, et le Bureau International a bon espoir que la fabrication de thermomètres de précision en quartz fondu pourra sortir définitivement du stade expérimental où elle était restée jusqu'à maintenant.

Les observations effectuées par le N. P. L. sur quelques thermomètres en quartz du Bureau International ont fait l'objet d'un article publié dans *J. Sc. Instr.*, 34, 1957, p. 147-154.

Études diverses. — Trente-deux thermomètres à mercure nous ont été soumis pour étude complète ou partielle par des laboratoires de France, du Japon et des Pays-Bas.

La cellule à point triple de l'eau offerte par le N. P. L. nous a permis de faire des observations intéressantes. Cette cellule est adaptée à l'observation des thermomètres à mercure; un dispositif additionnel permet d'appliquer momentanément sur le réservoir du thermomètre de faibles variations de pression et de modifier ainsi à volonté la forme du ménisque mercuriel.

Les déterminations du point zéro que nous avons faites sur un certain nombre de thermomètres avec ce modèle de point triple, nous ont permis d'observer les petites différences existant entre les positions d'équilibre des ménisques mercuriels observés à température descendante ou ascendante; ces différences, de l'ordre de 0,005 deg pour des capillaires d'environ 0,15 mm de diamètre, confirment les valeurs obtenues par J. A. Hall au N. P. L.

Notre équipement nécessaire pour la réalisation partielle de l'Échelle Internationale de Température a subi d'importants retards de la part des constructeurs. L'étude que nous avons faite d'une chaudière pour le point du soufre a cependant été suivie d'une réalisation. Malheureusement, ce repère important pour la thermométrie est maintenant tombé en désaffection; il sera bientôt, sans doute, remplacé par le point du zinc. Nous envisageons par suite d'employer cette chaudière à soufre pour réaliser un point d'ébullition de l'eau plus moderne que celui que nous utilisons depuis les travaux de P. Chappuis.

Nos efforts en vue de doter le Bureau International d'un nouveau manobaromètre, qui devient nécessaire pour remplacer l'ancien, ont été poursuivis; j'y reviendrai à propos de l'interférométrie.

Gravimétrie.

(Å. THULIN).

Les travaux entrepris il y a plusieurs années en vue de déterminer l'intensité de la pesanteur en mesurant directement l'accélération d'une règle divisée tombant librement sous l'action de son poids, sont maintenant terminés.

La longue recherche que nous avons faite des meilleures conditions expé-

riméntales et des nombreuses causes d'erreur, nous a permis d'obtenir un résultat qui, je crois, présente de sérieuses garanties d'exactitude. Lorsque l'exécution et la vérification de tous les calculs seront achevées, un Mémoire sera consacré à la description de ce travail. Dès maintenant, on peut admettre que la valeur la plus probable de g à la station que nous avons appelée « Sèvres, Point A » est très voisine de 980 928,0 mgal. La valeur de g , en ce même point, déterminée par plusieurs observateurs dans le système de Potsdam, est 980 940,8 mgal. Il résulte par conséquent de nos mesures que la correction qu'il convient d'appliquer aux valeurs de g , exprimées dans le système de Potsdam, serait de — 12,8 milligals.

Il serait très souhaitable que les mesures analogues, actuellement en cours d'exécution dans le monde, fussent terminées dans un proche avenir, afin que, de la confrontation des résultats, on puisse tirer une conclusion susceptible d'être sanctionnée par la Conférence Générale des Poids et Mesures en 1960.

Je rappelle que, dans sa dernière session, le Comité International s'était montré très favorable au projet que j'avais formé d'utiliser la méthode « des deux stations » pour déterminer g . Je continue de penser que cette méthode est la meilleure qui soit actuellement connue pour faire une telle mesure avec le maximum de chances d'éliminer toutes les erreurs systématiques possibles. Malheureusement, à mon très grand regret, ce travail n'a pas encore pu être entrepris, en raison du manque de personnel dont souffre de plus en plus le Bureau International et aussi parce que nous avons voulu consacrer tous nos efforts à l'achèvement des mesures par la méthode de la règle.

Électricité.

(G. LECLERC, J. BONHOURE, H. HIRAYAMA).

Comparaisons internationales. — Les étalons voyageurs de résistance et de force électromotrice des huit Laboratoires nationaux suivants : D.A.M.G. (Berlin), P. T. B. (Braunschweig), N. B. S. (Washington), N. R. C. (Ottawa), L. C. I. E. (Fontenay-aux-Roses), E. T. L. (Tokyo), N. P. L. (Teddington), I. M. (Leningrad), étaient tous au Bureau International en juillet 1957. Maintenus à 20° C, au repos et à l'abri de la lumière, ils étaient parfaitement stabilisés quand les mesures furent commencées au début du mois de septembre. Les comparaisons durèrent jusqu'à la mi-novembre; elles ont été effectuées par deux observateurs utilisant des étalons différents pour représenter les unités du Bureau International, afin d'obtenir pour Ω_{BIPM} et V_{BIPM} une représentation aussi large que possible.

Les étalons de résistance, tous de premier ordre, ont été comparés entre eux suivant le schéma « en roue » déjà employé en 1953 et en 1955. Ce schéma ne faisant intervenir que 18 étalons (deux par Laboratoire), les résistances supplémentaires envoyées par certains Laboratoires ont fait l'objet de mesures de rattachement; de cette façon, tous les étalons voyageurs de résistance électrique sont intervenus pour le calcul des résultats.

Les piles étalons ont été réunies en neuf groupes (un par Laboratoire). Ces groupes ont été comparés deux à deux dans toutes les combinaisons possibles.

Ces comparaisons internationales, dont on trouvera un rapport détaillé aux Annexes 2 (p. 101) et 3 (p. 110), ont donné les résultats suivants :

*Écarts des unités nationales de résistance par rapport à l'unité
conservée au B. I. P. M. (Ω_{BIPM})*

Allemagne	{	D. A. M. G. (*).....	+16,9 $\mu\Omega$
		P. T. B.	+ 3,3
Amérique (États-Unis d')		.....	- 1,0
Canada		.....	- 4,8
France		.....	- 7,4
Japon		.....	- 0,4
Royaume-Uni		.....	- 3,4
U. R. S. S.		.....	+ 0,4

(*) Ainsi qu'il l'avait annoncé au Comité Consultatif d'Électricité de juin 1957 (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 26-B, 1958, p. E 8), le D. A. M. G. a décidé d'aligner son unité sur celle du Bureau International; on avait donc en octobre 1957 $\Omega_{\text{DAMG}} = \Omega_{\text{BIPM}}$

*Écarts des unités nationales de force électromotrice par rapport
à l'unité conservée au B. I. P. M. (V_{BIPM})*

Allemagne	{	D. A. M. G.	+1,1 μV
		P. T. B.	+0,2
Amérique (États-Unis d')		.....	-1,3
Canada		.....	-0,8
France		.....	-2,1
Japon		.....	-3,4
Royaume-Uni		.....	+5,2
U. R. S. S.		.....	+8,4

Étalonnage de l'instrument de passage de 1 à 100 Ω construit au N. S. L. (Australie). — De nombreuses mesures ont été effectuées sur cet instrument (*) au cours de son étude initiale au Bureau International; comme nous ignorions le coefficient de température des bobines de 10 Ω qui le constituent, nous avons fait toutes les observations à des températures voisines de part et d'autre de 20° C.

1° Coefficient de température :

environ + 12,5. 10⁻⁶ ohm par ohm et par degré, au voisinage
de 20° C.

2° Sections de 1 Ω :

(mesures au pont double, rapport des bras 1, $I = 0,1$ A, puissance dissipée dans l'instrument $P = 0,01$ W);

Bobines N^{os} 1 à 10 en parallèle = 0,999 955 6 $\pm 1.10^{-7}$ Ω à 20° C;

Bobines N^{os} 2 à 11 en parallèle = 0,999 955 0 $\pm 1.10^{-7}$ Ω à 20° C.

(*) HAMON (B. V.), A 1-100 Ω build-up resistor for the calibration of standard resistors, *J. Sc. Instr.*, 31, 1954, p. 450.

3° Sections de 100 Ω :

(a. mesures au pont de Smith, $I = 0,01$ A, $P = 0,01$ W; b. mesures au pont double, rapport des bras 10, $I = 0,01$ A, $P = 0,01$ W, et $I = 0,005$ A, $P = 0,0025$ W);

Bobines N^{os} 1 à 10 en série = $99,995\ 566 \pm 3 \cdot 10^{-5}$ Ω à 20° C;

Bobines N^{os} 2 à 11 en série = $99,995\ 527 \pm 3 \cdot 10^{-5}$ Ω à 20° C.

L'instrument réalise donc le rapport 100 avec la précision prévue.

4° Sections de 10 Ω :

(mesures au pont double, rapports des bras 1 et 10; $I = 0,01$ A, $P = 0,001$ W, et $I = 0,05$ A, $P = 0,025$ W);

Bobine N^o 1 = $9,999\ 631 \pm 2 \cdot 10^{-6}$ Ω à 20° C;

Bobine N^o 11 = $9,999\ 583 \pm 2 \cdot 10^{-6}$ Ω »

Montage spécial

série-parallèle (SP) = $9,999\ 556 \pm 2 \cdot 10^{-6}$ Ω »

La comparaison en série fermée des bobines N^o 1, N^o 11 et du montage SP a conduit d'autre part aux résultats suivants

Bobine N^o 1—SP = $+ 0,000\ 075 \pm 2 \cdot 10^{-6}$ Ω à 20° C;

Bobine N^o 11—SP = $+ 0,000\ 027 \pm 2 \cdot 10^{-6}$ Ω »

A partir des différences ci-dessus et des valeurs mesurées des sections de 1 Ω (paragraphe 2°), on peut calculer théoriquement les valeurs des sections de 10 Ω

Bobine N^o 1 = $9,999\ 623$ Ω à 20° C;

Bobine N^o 11 = $9,999\ 576$ Ω »

SP = $9,999\ 549$ Ω »

On constate une différence systématique, de l'ordre de $7 \cdot 10^{-6}$ Ω en moyenne, entre les valeurs des sections de 10 Ω déterminées directement et les valeurs calculées théoriquement; ce n'est qu'après de nouvelles observations que nous pourrions dire si cette différence, légèrement supérieure à l'incertitude des mesures, est réelle ou non.

Étalons de résistance en alliage or-chrome. — Une nouvelle étude des étalons en alliage or-chrome fabriqués au D. A. M. G., que nous avons acquis en 1951, permet d'établir le tableau suivant des valeurs successivement obtenues pour la résistance à 20° C de ces étalons.

Date	GA(9)	GA(15)	GA(16)
Juin 1951	1,000 473 4 Ω	1,000 366 1 Ω	1,000 066 2 Ω
Août 1951	476 5	367 9	066 4
Décembre 1951	480 1	370 1	067 0
Octobre 1952	487 1	373 4	070 0
Avril et août 1958	496 5	373 3	070 5

Si l'évolution de l'étalon GA (9) demeure rapide, les résistances GA (15) et GA (16) paraissent par contre stabilisées et semblent justifier l'espoir mis dans l'alliage or-chrome par le Dr Schulze. Signalons cependant qu'un effet Peltier important complique les mesures des étalons que nous possédons.

Ohms étalons en métaux purs. — Le premier modèle d'étalon en platine présenté au Comité International en octobre 1956 ne nous ayant pas donné satisfaction (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 26-B, 1958, p. E 95), nous avons modifié nos plans pour revenir à une conception plus classique.

Dans le nouvel étalon que nous avons construit, le fil de platine a un diamètre de 0,7 mm (section double de celle du fil utilisé précédemment) et une pureté telle que $\frac{R_{100}}{R_0} = 1,392$. Il est maintenu dans une double

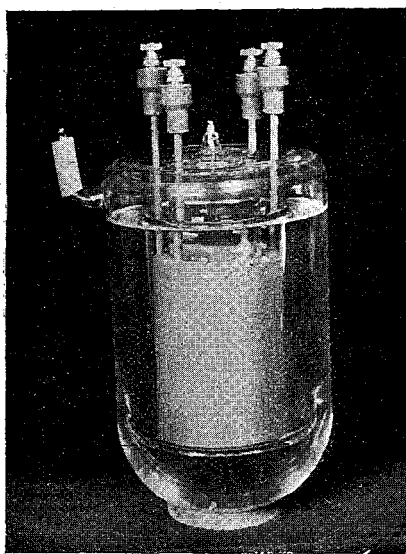


Fig. 2.

hélice (pour réduire la self-induction) ménagée à la surface d'un manchon en silice fondue opaque de 100 mm de hauteur, 80 mm de diamètre extérieur et 5 mm d'épaisseur.

Avant bobinage le fil a été nettoyé à l'acétone et recuit à 1300° C, dans l'air, pendant trois minutes, par passage d'un courant électrique. Après mise en place sur son support de silice et nouveau lavage à l'acétone, il a subi un second recuit dans l'air (à l'abri de tout réducteur) pendant 30 minutes, à 800° C. La préparation du fil de platine, son bobinage et les traitements thermiques ont été effectués avec le plus grand soin par le Comptoir Lyon-Alemand, à Paris.

L'ensemble support-fil a été introduit ensuite dans un récipient en laiton qui fut hermétiquement fermé après emplissage avec de l'hélium sous une pression de 1 atmosphère. Quatre traversées étanches permettent le passage des conducteurs de courant et des prises de potentiel. Par précaution, l'étalon terminé a été recouvert d'une peinture anti-fuites. Au cours des mesures, cet étalon est placé dans une ampoule à point triple de l'eau, construite spécialement pour le recevoir (*fig. 2*).

L'étalon de résistance à mercure comprend essentiellement un tube de pyrex d'environ 1 mm de diamètre intérieur et d'une longueur de l'ordre de 830 mm. Ce tube, replié sur lui-même plusieurs fois, est terminé par deux ampoules de 20 mm de diamètre intérieur et de 30 mm de hauteur dans lesquelles débouchent les prises de courant et les prises de potentiel. L'ensemble, rempli de mercure, est placé à l'intérieur d'une enceinte en pyrex hermétiquement fermée contenant de l'eau et qui constitue une ampoule à point triple (fig. 3).

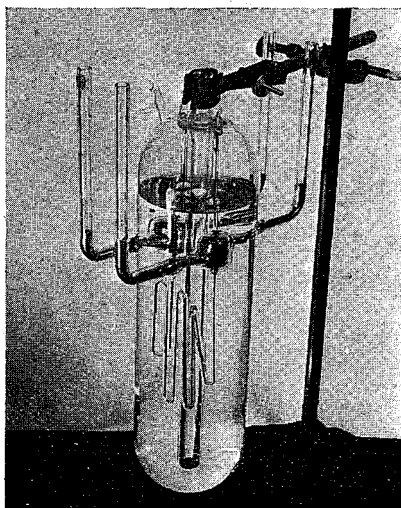


Fig. 3.

Le nombre et la difficulté des soudures à effectuer ont rendu la réalisation de cet instrument extrêmement délicate; nous tenons à remercier et à féliciter la Société Prolabo pour le résultat auquel elle est parvenue.

Cet étalon n'est qu'un prototype d'essais, car le pyrex n'est pas suffisamment stable dans le temps pour assurer la permanence de la résistance; notre but final demeure la construction d'un étalon à mercure dans un tube de silice.

Nous disposons de ces étalons depuis trop peu de temps pour avoir déjà une opinion sur leur stabilité. Jusqu'ici, nous avons surtout cherché à mettre au point le meilleur procédé de mesure : reproduction fidèle de la température de définition, choix des caractéristiques du pont pour obtenir la sensibilité voulue ($1 \mu\Omega$) avec le minimum d'énergie dissipée dans l'étalon.

Aucune force thermoélectrique ni effet Peltier n'ont perturbé nos premières expériences.

Après avoir effectué plusieurs essais, nous savons maintenant obtenir correctement la température de définition (point triple de l'eau) de notre prototype « d'ohm » à mercure. Nous avons constaté sa stabilité parfaite

en cours de mesure, malgré le passage du courant; des déterminations faites avec des puissances dissipées comprises entre 25 et 625 μ W (courant de 5 à 25 mA), ont toujours conduit à une même valeur de la résistance.

Nous n'avons pas encore obtenu de résultats aussi satisfaisants avec notre « ohm » à fil de platine. Malgré la petitesse du courant (5 mA), le peu de temps pendant lequel il traverse l'étalon et la surface importante de refroidissement, le fil s'échauffe régulièrement pendant les mesures et la résistance augmente constamment. D'autre part, la congélation du point triple de l'eau spécial qui reçoit l'étalon est difficile à réussir d'une façon régulière; c'est la solution de ce problème qui nous préoccupe encore.

Études diverses. — Je rappelle que le Bureau International procède annuellement à l'intercomparaison des étalons de résistance et de force électromotrice qui conservent ses « unités », et qu'il entretient et étudie périodiquement l'ensemble des appareils et installations électriques utilisés par ses Sections d'Électricité et de Photométrie.

Nous avons en outre déterminé :

— dix éléments Weston, un étalon de 10 Ω , deux étalons de 1 Ω (coefficient de température et équation à 20° C) et un étalon de 0,1 Ω (Office National des Mesures, Budapest);

— cinq éléments Weston classiques et un élément monotubulaire, un étalon de 1 Ω (coefficient de température et équation) et un étalon de 10 Ω (Direction Générale de la Métrologie, Bucarest);

— un étalon de 1 Ω (Bureau Fédéral des Poids et Mesures, Berne);

— un élément Weston (Central Air Material Area, Châteauroux).

Photométrie.

(J. TERRIEN, H. MOREAU, J. BONHOURE).

Comparaisons internationales. — Les calculs définitifs de la troisième comparaison internationale des étalons nationaux d'intensité et de flux lumineux ont été terminés en 1957. Les résultats de cette comparaison ont été présentés et discutés au Comité Consultatif de Photométrie, dans sa session de septembre 1957 (*).

Les récentes déterminations absolues des unités photométriques n'ont pas conduit à une diminution des écarts entre les différentes unités nationales; ces écarts atteindraient au maximum 1,36 % pour la candela à 2 042° K, 1,44 % pour la candela à 2 353° K, 1,25 % pour le lumen à 2 353° K et 1,9 % pour le lumen à 2 788° K. Les unités ne semblent pas être connues actuellement à mieux que 1 % par suite des difficultés rencontrées dans la réalisation de l'étalon primaire et aussi dans le passage aux autres unités à partir de la candela à 2 042° K.

La question de l'unification des unités photométriques a également retenu l'attention. Sur les sept Laboratoires nationaux qui ont participé à la comparaison internationale, trois d'entre eux : P. T. B.-D. A. M. G. (Allemagne), C. N. A. M. (France) et E. T. L. (Japon) ont décidé d'aligner leurs unités sur la nouvelle moyenne des unités en vigueur en 1952 dans

(*) Procès-Verbaux C. I. P. M., 26-B, 1958, Annexe P 8, p. P 74.

les cinq Laboratoires nationaux des États-Unis d'Amérique, de France, du Japon, du Royaume-Uni et de l'U. R. S. S.; trois autres laboratoires : N. B. S. (États-Unis), N. P. L. (Royaume-Uni) et I. M. (U. R. S. S.) conservent les unités qu'ils utilisaient en 1952; quant au N. R. C. (Canada), il garde les unités qu'il a établies à la suite de ses propres déterminations absolues en 1953.

La situation présente des unités photométriques nationales et des unités adoptées par le Bureau International a été exposée au Comité Consultatif de Photométrie (5).

Étalonnages photométriques. — Trente-sept lampes d'intensité et de flux lumineux ont été étalonnées pour la Direction Générale de la Métrologie (Roumanie) et l'Office National des Mesures (Hongrie); pour ce dernier laboratoire, nous avons également réglé deux étalons en température de couleur d'après l'Échelle B. I. P. M. 1951.

Quelques lampes neuves, prélevées sur la réserve constituée par nos soins, ont été cédées à divers laboratoires du Canada, de Roumanie et de Turquie.

Récepteurs photoélectriques. — Mon Rapport de 1956 faisait état des caractéristiques particulièrement intéressantes d'un nouveau tube photoélectrique du type Gillod-Boutry, à cathode Cs-Bi. Quatre-vingt-huit de ces récepteurs ont été construits et cédés, après examen au Bureau International, à divers Laboratoires nationaux et privés qui en avaient fait la demande.

Interférométrie.

(J. TERRIEN, J. HAMON, T. MASUI).

Étude des radiations monochromatiques envisagées pour la définition du mètre. — Dans mon Rapport de 1956 ont été exposés les méthodes et les résultats d'une étude de la visibilité des interférences dans l'interféromètre de Michelson, et du profil spectral par analyse à l'étalon Perot-Fabry. Depuis 1956, des mesures plus précises de la visibilité des interférences à l'interféromètre de Michelson ont permis de déterminer d'une façon plus certaine le profil spectral des radiations reconnues les meilleures, produites dans des conditions favorables, et de mesurer séparément l'élargissement par effet Doppler et l'élargissement par d'autres causes.

Quelques radiations ont été ainsi étudiées : 1° la raie verte du mercure 198, appelée ici Mv ($6^3P_2 - 7^3S_1$) et les raies jaunes $M1$ ($6^1P_1 - 6^1D_2$) et $M2$ ($6^1P_1 - 6^3D_2$) émises par une lampe sans électrodes, dans un champ alternatif à la fréquence de 300 à 400 MHz, avec refroidissement par un courant d'eau glacée; 2° la raie jaune-vert du krypton 86, appelée ici Kjv ($1s_3 - 2p_{10}$), et la raie orangée Ko_1 ($2p_{10} - 5d_3$), émises en bout par une lampe à cathode chaude de Engelhard refroidie au point triple de l'azote (63° K) et alimentée par un courant continu d'intensité 3 mA.

La visibilité $V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$, mesurée à 1 % près pour plusieurs

(5) Procès-Verbaux C. I. P. M., 26-B, 1958, p. P 102 (tableau XI).

différences de marche D , ne varie pas en fonction de D comme la théorie le prévoit pour un profil Doppler, quelle que soit la température admise; le désaccord est le plus grand dans le cas des raies du mercure. L'étude théorique laisse prévoir d'autres causes d'élargissement que l'effet Doppler : la largeur naturelle, l'effet de pression, et la résonance quantique. Ces deux dernières causes sont indésirables pour un étalon de longueur, car elles peuvent provoquer en même temps un changement de la longueur d'onde. Or, la connaissance précise de la visibilité en fonction de la différence de marche renseigne facilement sur l'importance de l'élargissement dû aux effets autres que l'effet Doppler; elle renseigne aussi sur la température d'agitation thermique des atomes émetteurs. En effet, la théorie présentée par J. Terrien au Comité Consultatif pour la Définition du Mètre ⁽⁶⁾ conclut que si δ_1 est la largeur qui serait due uniquement à l'effet Doppler, et δ_2 la largeur qui serait due uniquement aux autres causes citées qui produiraient à elles seules un profil de la forme

$$f(x) = \left(1 + \frac{4x^2}{\delta_2^2} \right)^{-1},$$

la visibilité résultante V est reliée à δ_1 et δ_2 par la relation simple

$$\frac{\log_{10} V}{D} = -1,542 D \delta_1^2 - 1,36 \delta_2.$$

Si l'on porte sur un graphique en fonction de D les valeurs de $D^{-1} \log V$ déterminées par l'expérience, les points obtenus se placent sur une droite; d'après la pente de cette droite, on mesure la largeur Doppler pure δ_1 , et d'après l'ordonnée à l'origine, on connaît la largeur δ_2 due aux autres causes perturbatrices. Les résultats sont rassemblés au tableau I.

TABLEAU I

Lampe	Radiation	$\delta_1(\text{cm}^{-1})$	T	$\delta_2(\text{cm}^{-1})$
Hg 198 (à 2°C)	M ν	0,016	38°C	0,003
	M1	0,016	38	0,008
	M2	0,016	38	0,008
Kr 86 (à 63°K, 3 mA)	K $j\nu$	0,012	77°K	0,002
	K o_1	0,011	77	0,001

La température d'agitation thermique T n'est donc pas très supérieure à la température à laquelle la lampe est refroidie; mais les autres causes d'élargissement, mesurées pour la première fois avec précision, sont faibles pour les deux raies du krypton, et plus fortes pour les raies du mercure. Ce résultat a achevé de convaincre le Bureau International que le choix actuellement le meilleur d'un étalon fondamental de longueur devait porter sur la radiation orangée Ko_1 du krypton 86.

La théorie a été complétée afin de tenir compte d'une auto-absorption modérée, et comparée à la visibilité observée de $M\nu$ lorsque la lampe à mercure n'est plus refroidie, mais seulement maintenue à 22° C. En admet-

(6) Procès-Verbaux C. I. P. M., 26-B, 1958, p. M 135.

tant que la largeur Doppler $\delta_1 = 0,017 \text{ cm}^{-1}$, la largeur $\delta_2 = 0,00375 \text{ cm}^{-1}$ et l'absorption au centre du profil 0,385, les visibilitées calculées en fonction de la différence de marche D sont en bon accord avec les visibilitées observées, comme on peut le voir au tableau II.

TABLEAU II

D (cm)	10	20	30	40	43	50	54	60
V observé	0,775	0,457	0,182	0,023	0,000	-0,032	-0,032	-0,019
V calculé	0,775	0,451	0,176	0,025	0,000	-0,031	-0,031	-0,029

Cet accord confirme plusieurs conclusions déjà acquises : 1° la température d'agitation thermique est supérieure à celle de la lampe de 35 degrés environ; 2° l'absorption est bien de l'ordre de grandeur déjà estimé antérieurement d'après la variation de l'intensité rayonnée en fonction de la température. Mais il est remarquable que la largeur δ_2 , attribuée surtout à un effet de pression, ne soit pas plus grande à 22° C qu'à 2° C, bien que la tension de vapeur du mercure soit multipliée par 5 environ. Il faut donc penser que l'argon est le principal responsable de l'élargissement par pression, ce qui confirme les observations déjà faites avec une lampe contenant de l'argon à une pression plus forte (10 mm Hg). Cet élargissement est certainement en relation avec le déplacement de longueur d'onde produit par l'argon.

D'autres observations intéressantes ont été faites sur les deux raies du krypton, à température plus élevée, donc à pression plus forte (1 mm Hg au lieu de 0,3 mm Hg), ou avec un courant d'excitation plus intense (30 mA au lieu de 3 mA), ou les deux simultanément. Les déformations de la courbe de visibilité constatées dans ces conditions et leur interprétation ont été exposées dans le Rapport du Bureau International présenté à la 2^e session du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (6).

En partant des visibilitées mesurées au Michelson, on a aussi fait le calcul, par transformation de Fourier, du profil spectral de la radiation $K\alpha_1$ émise dans des conditions déterminées, afin de le comparer au profil déterminé en 1956 à l'étalon Perot-Fabry. L'accord est très bon, sauf aux pieds du profil, qui ne peuvent pas être obtenus exactement avec ce dernier étalon.

Mesures de longueur d'onde par comparaison à la radiation rouge du cadmium. — L'exactitude des résultats des comparaisons de longueur d'onde présentés en 1956 était insuffisante. Une étude des erreurs systématiques des mesures à l'interféromètre de Michelson a établi qu'il était important de veiller aux précautions suivantes :

- 1° éviter, au moyen de diaphragmes, les ondes parasites provenant de réflexions vitreuses ;
- 2° masquer les régions des ondes où apparaissent des défauts de planéité dus aux imperfections des miroirs ;
- 3° régler l'éclairage de façon que l'éclairement se répartisse d'une façon reproductible sur les miroirs de l'interféromètre, et soit bien uniforme sur le plan à l'infini où sont localisés les anneaux d'interférence ;
- 4° régler le parallélisme des deux ondes à 0,01 frange près ;
- 5° produire les interférences successivement et rapidement à deux différences de marche égales et de signe contraire ;

6° observer les interférences par une méthode photoélectrique, en isolant la partie centrale des anneaux par une petite ouverture couvrant un domaine de phase inférieur à $\frac{2\pi}{8}$;

7° contrôler la linéarité et la fidélité du dispositif de flexion du support de la compensatrice qui sert pour le déplacement des franges.

L'efficacité des améliorations apportées aux appareils et à leur mode d'emploi peut être appréciée par la reproductibilité des comparaisons faites avec les deux radiations les meilleures du krypton 86; l'écart-type d'une mesure, d'après sept mesures indépendantes du rapport de longueur d'onde entre les raies $K\alpha_1$ et $K\beta$, est inférieur à $2 \cdot 10^{-9}$ en valeur relative. On verra plus loin qu'un accord excellent existe aussi entre les longueurs d'onde mesurées au Bureau International et dans les deux Laboratoires nationaux qui ont présenté des résultats définitifs.

La principale incertitude des mesures par rapport à la radiation rouge du cadmium de la lampe de Michelson provient de la largeur de cette radiation, et peut-être aussi des changements de sa longueur d'onde avec les conditions d'excitation. Nos expériences ont montré que cette longueur d'onde diminue de $0,36 \cdot 10^{-9}$ en valeur relative par degré. La lampe de Michelson a été maintenue à $300 \pm 3^\circ \text{C}$, et l'intensité de courant à 4 mA. Cette lampe était construite et utilisée conformément aux spécifications adoptées par le Comité International en 1935. Les résultats définitifs, réduits au vide par la formule de dispersion d'Edlén, sont reproduits dans le tableau III.

TABLEAU III

Longueurs d'onde dans le vide par comparaison à la radiation rouge du cadmium ($0,644\ 024\ 907\ \mu$)

Krypton 86	Mercure 198
$K\beta$ 0,565 112 86 μ	$M\alpha$ 0,435 956 24 μ
$K\alpha_1$ 0,605 780 21	$M\beta$ 0,546 227 07
$K\gamma$ 0,645 807 20	$M2$ 0,577 119 85
	$M1$ 0,579 226 84

Réduction des longueurs d'onde à l'atome immobile et non perturbé, la radiation orangée du krypton 86 étant prise comme étalon. — Après la deuxième session du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre, nous avons recalculé les résultats de nos comparaisons de longueurs d'onde en utilisant la radiation du krypton 86 avec la longueur d'onde recommandée par le Comité Consultatif, c'est-à-dire 1 650 763,73 longueurs d'onde par mètre. De plus, on a tenu compte des corrections dues au sens du courant, à la pression, à la densité de courant dans la lampe à krypton, et à la pression d'argon dans les lampes à mercure. Les corrections relatives au krypton ont été calculées d'après les travaux de E. Engelhard; elles sont en accord avec quelques expériences préliminaires faites au Bureau International. Les corrections relatives au mercure ont été calculées d'après les résultats des expériences de K. M. Baird, mais ce calcul souffre de l'incertitude sur la pression actuelle de l'argon dans les lampes.

La confrontation des valeurs ainsi corrigées avec les valeurs obtenues d'une façon analogue par la P. T. B. et le N. P. L. montre un excellent

accord, qui illustre le progrès réalisé dans l'exactitude des mesures de longueur d'onde et dans la qualité de l'étalon de référence, comme on peut le voir au tableau IV.

TABLEAU IV

Longueurs d'onde dans le vide corrigées
(Étalon : radiation 0,605 780 211 μ du Kr 86)

		B. I. P. M.	P. T. B.	N. P. L.
Krypton 86	$1s_3 - 3p_{10}$	0,565 112 863 μ	0,565 112 862 μ	0,565 112 86 μ
Mercure 198	$6^1P_1 - 6^1D_2$	0,579 226 851	0,579 226 85	0,579 226 85
	$6^1P_1 - 6^3D_2$	0,577 119 857	0,577 119 85	0,577 119 85
	$6^3P_2 - 7^3S_1$	0,546 227 077	0,546 227 07	0,546 227 07
	$6^3P_1 - 7^3S_1$	0,435 956 25	-	0,435 956 25

Indice de réfraction de l'air. — Un petit interféromètre de Michelson en invar, entièrement construit à l'atelier du Bureau International, dans lequel les deux faisceaux sont repliés parallèlement l'un à l'autre, sans lumière parasite grâce à l'emploi de lumière polarisée frappant la séparatrice sous l'incidence de Brewster, a été mis en service pour des essais de mesure de l'indice de l'air. On a eu en vue de réaliser un appareil transportable pour la détermination des corrections d'indice lors de la mesure des calibres par les interférences. Les chambres étanches, successivement vidées et emplies d'air, ont une longueur de 100 mm et sont traversées deux fois. La mise au point de cet appareil n'est pas achevée. On s'est aperçu au cours des essais que les cales de liège, employées pour appliquer les miroirs contre leurs butées, exerçaient une pression qui varie beaucoup avec l'humidité; ces cales étaient fort préjudiciables à la stabilité de l'interféromètre au cours de plusieurs jours, et nous les avons remplacées par des lames métalliques flexibles. Par observation photoélectrique, l'ordre d'interférence est mesurable à 0,001 frange environ.

Plan liquide. — Désirant contrôler les défauts de planéité de nos miroirs interférentiels par une méthode absolue, nous avons essayé tout d'abord avec succès un plan liquide avec de l'huile de paraffine selon les indications de H. Barrell et R. Marriner.

Puis, craignant des déformations de la surface du liquide par des forces électrostatiques, nous avons adopté le plan de mercure en couche mince (0,7 mm) décrit par A. Danjon, tel qu'il l'utilise dans son astrolabe impersonnel (7). Onze miroirs de verre et quatre plans d'acier ont été contrôlés par comparaison à ce plan de mercure.

Raie d'absorption de l'iode. — W. G. Fastie a signalé qu'une raie du spectre d'absorption moléculaire de l'iode coïncide avec la raie verte de l'isotope 204 du mercure. Cette coïncidence a été vérifiée sur les anneaux interférentiels de structure hyperfine du mercure ordinaire, avec un étalon Perot-Fabry d'une longueur de 20 mm; pour cette longueur, la composante 204 est suffisamment séparée pour que sa disparition soit facilement observable lorsqu'on interpose une colonne de vapeur d'iode de 100 mm

(7) *Bull. Astr.*, 18, 1955, p. 274.

à la tension de sublimation à la température ordinaire. Cette radiation de l'iode ne semble pas suffisamment fine pour constituer un étalon de longueur d'onde de grande valeur.

Radiations infrarouges. — Avec un photomultiplicateur refroidi à la glace carbonique, nous avons fait quelques nouvelles expériences sur les radiations infrarouges du krypton 86, choisies parmi celles qui peuvent être séparées par notre monochromateur à prisme; des radiations du xénon 136 ont été aussi examinées. Nous avons trouvé une douzaine de radiations qui ont une intensité et une finesse suffisantes pour être utilisées à la différence de marche de $\bar{1}$ m. Les meilleures radiations paraissent être la raie $0,985\ 6\ \mu$ du krypton, dont nous avons photographié les interférences à $1\ \text{m}$ dès 1954, et la raie $1,087\ 4\ \mu$. A la différence de marche de $0,5\ \text{m}$, la visibilité de ces radiations peut dépasser $0,4$.

Mesure de calibres à bouts plans. — Trois calibres ont été mesurés pour la Direction Générale de la Métrologie (Roumanie), quatre pour l'Office National des Mesures (Hongrie), et six pour le Bureau Fédéral des Poids et Mesures (Suisse). L'un de ces derniers calibres, d'une longueur de $100\ \text{mm}$, après sa détermination par la méthode habituelle à l'interféromètre Pérard, a été mesuré par observation photoélectrique à l'interféromètre de Michelson; cette deuxième méthode, plus agréable et probablement plus précise, a donné un résultat concordant à $0,01\ \mu$ près.

Un calibre de $500\ \text{mm}$ a été étalonné par la même méthode photoélectrique pour les Ateliers Morandeu à Sèvres.

Six broches en acier à bouts sphériques du Bureau International ont été mesurées par les interférences (*voir* p. 27).

Manobaromètre interférentiel. — Plusieurs projets ont été envisagés pour un manomètre à mercure dans lequel les niveaux de mercure seraient localisés par la production de franges en lumière blanche. Dans ces projets, les interférences ne servent pas à la mesure de la hauteur de mercure, mais seulement à régler l'égalité de deux chemins optiques dont l'un comprend la hauteur de mercure et l'autre dépend du déplacement d'une règle divisée; il est donc inutile de pointer la position des franges, il suffit de constater leur existence en lumière blanche, ce qui est relativement aisé même si elles sont mouvantes sous l'effet des vibrations du mercure. Des essais de suspension à ressorts ont montré qu'il serait possible, en cas de nécessité, de diminuer d'un facteur 20 environ l'agitation des surfaces de mercure. Dès maintenant nous avons arrêté notre choix sur un type de manobaromètre qui semble devoir donner entière satisfaction, et dont le principe est décrit dans la *Revue d'Optique*, 38, 1959, p. 34.

Voyages.

Dans la mesure du possible, je m'efforce d'organiser des voyages qui permettent au Bureau International de faire entendre sa voix dans des assemblées où les questions qui nous intéressent sont discutées. Je suis allé moi-même à Toronto, en septembre 1957, pour les assises de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale, et à Ottawa où une intéressante conférence, organisée par notre collègue L. E. Howlett, réunissait quelques spécialistes des mesures gravimétriques. Auparavant, j'avais

participé aux travaux de la Commission Gravimétrique Internationale, qui eut lieu en septembre 1956 à Paris. En juillet 1958, j'ai assisté à une cérémonie organisée à Neuchâtel à l'occasion de la remise aux autorités neuchâteloises, par la famille de Ch.-Éd. Guillaume, des insignes du Prix Nobel que mon illustre Maître et ancien Directeur du Bureau avait reçu en-1921.

J. TERRIEN, sur l'invitation de Mr J. M. Otero, a visité en février 1957 l'Institut d'Optique Daza Valdés de Madrid et donné une conférence sur le projet d'une nouvelle définition du mètre.

Peu de temps avant la deuxième session du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre, il est allé à la P. T. B., Braunschweig, principalement pour s'entretenir avec Mr Engelhard des études en cours sur les radiations monochromatiques.

Il a été invité à faire plusieurs conférences sur des sujets de métrologie interférentielle ou photométrique, à Neuchâtel, à Besançon et à Lyon; il a en outre participé aux travaux du Congrès Avogadro sur les constantes fondamentales de la physique (Turin, septembre 1956), et du Colloque international de Spectroscopie interférentielle (Bellevue, septembre 1957).

Enfin, en août 1958, J. TERRIEN a visité l'Institut de Métrologie de Leningrad, et participé aux travaux de l'Union Astronomique Internationale, à Moscou, où des questions fondamentales de spectroscopie ont été examinées. A son retour par Turku, il a rencontré Mr Väisälä et visité son beau laboratoire.

A. BONHOURS a fait une visite au National Physical Laboratory, à Teddington, en novembre 1957, dans le but d'examiner quelques balances de précision qui paraissaient susceptibles de nous intéresser.

H. MOREAU s'est rendu en avril 1957 à Nice, où quelques échanges de vues sur la diffusion du Système Métrique dans le monde ont eu lieu au sein de l'Union Interparlementaire.

Visites et stages.

Les nombreuses réunions de Comités Consultatifs et de Commission qui ont eu lieu depuis deux ans ont amené au Pavillon de Breteuil une grande partie des Membres du Comité International, ce qui est très heureux pour notre Bureau. En plus des Membres de ces Comités et Commission, j'ai eu le plaisir de recevoir MM. ISNARDI et SIEGBAHN, venus s'entretenir des problèmes du Bureau International.

Mr A. H. COOK, du National Physical Laboratory, a participé à quelques mesures avec notre comparateur normal en décembre 1956.

Mr J. SCHANDA, de l'Office National des Mesures, Budapest, s'est initié à nos méthodes de mesures photométriques au cours d'un stage en octobre 1957.

Mr CRISTESCO, de la Direction Générale de la Métrologie, Bucarest, a fait un stage en décembre 1957 et janvier 1958.

Divers.

Madame Adrien Favre, dont le mari est l'auteur de l'intéressant ouvrage intitulé « Les origines du Système Métrique » et publié en 1931, a adressé

au Bureau International un dossier contenant des documents que l'auteur, mort en 1956, avait réunis en vue de parfaire cette étude.

Nous avons reçu d'autre part, de Mr Henri Sainte-Claire Deville, un ensemble de lettres adressées à son grand-père, l'éminent chimiste qui a attaché son nom à la mise au point du merveilleux alliage métrologique qu'est le platine iridié.

Publications du Bureau

En 1957 et 1958 le Bureau a publié :

1° *Procès-Verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures* (session d'octobre 1956).

2° *Procès-Verbaux du Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde* (1^{re} Session, juin 1957).

3° *Procès-Verbaux du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre* (2^e Session, septembre 1957).

4° *Procès-Verbaux du Comité Consultatif d'Électricité* (8^e Session, juin 1957).

Les *Procès-Verbaux* des Comités Consultatifs de Photométrie (4^e Session, septembre 1957) et de Thermométrie (5^e Session, juin 1958) seront publiés fin 1958 et début 1959.

L'ensemble de ces cinq Comités Consultatifs formera, avec les Procès-Verbaux de la session d'octobre 1958 du Comité International, les tomes 26-A et 26-B des Procès-Verbaux du C. I. P. M.

J'attire à nouveau l'attention sur le nombre de ces publications qui absorbent une partie importante de notre temps. Cent vingt-cinq rapports présentés à ces divers Comités ont été mis au point, traduits, diffusés, imprimés. Notre recherche d'économies dans le coût de nos impressions a été suivie d'un résultat substantiel. Malheureusement il ne nous a pas été possible d'accélérer le travail de notre éditeur.

Publications extérieures

TERRIEN (J.), Sur les radiations monochromatiques envisagées pour une nouvelle définition de l'unité de longueur, *Nuovo Cimento*, 6-X, 1957, Suppl. n° 1, p. 419-427 (Congrès Avogadro).

TERRIEN (J.), La future définition du mètre par une longueur d'onde. État de la question. Radiations envisagées, *J. Phys.*, 18, 1957, p. 7 S.

TERRIEN (J.), État actuel de la question des étalons photométriques en liaison avec la photométrie des lampes fluorescentes, *Comptes Rendus des Journées de l'Éclairage* (Lyon, 1957), p. 142.

TERRIEN (J.), HAMON (J.) et MASUI (T.), Profil spectral et causes d'élargissement de quelques radiations hautement monochromatiques du mercure 198, *Comptes Rendus Acad. Sc.*, 245, 1957, p. 926.

TERRIEN (J.), HAMON (J.) et MASUI (T.), Profil spectral et causes d'élargissement de quelques radiations hautement monochromatiques du krypton 86, *Comptes Rendus Acad. Sc.*, 245, 1957, p. 960.

- MASUI (T.), Note sur l'indice de réfraction de l'air dans le spectre visible, *Rev. Optique*, 36, 1957, p. 281.
- MOREAU (H.), HALL (J. A.) et LEAVER (V. M.), Mercury-in-quartz thermometers for very high accuracy, *J. Sc. Instr.*, 34, 1957, p. 147-154.
- MOREAU (H.), Système International d'Unités et nouvelle définition de la seconde, *Rev. Métrologie Pratique et Légale*, 13, 1957, p. 223-227; *La Nature*, octobre 1957, n° 3270, p. 384-385; *J. Suisse Horlogerie Bijouterie*, novembre-décembre 1957, p. 255-257 et 267; *Mesures*, 23, 1958, p. 17-20.
- MOREAU (H.), Vers la définition du mètre en longueur d'onde, *La Nature*, décembre 1957, n° 3272, p. 477; *Rev. Métrologie Pratique et Légale*, 13, 1957, p. 423; *Mesures*, 23, 1958, p. 20-21.
- MOREAU (H.), L'Organisation Internationale de Métrologie Légale, *La Nature*, juin 1957, n° 3266, p. 235.
- MOREAU (H.), Unification du numérotage des textiles, *Rev. Métrologie Pratique et Légale*, 13, 1957, p. 493; *La Nature*, janvier 1958, n° 3273, p. 8.
- TERRIEN (J.), Observations photoélectriques à l'interféromètre de Michelson, *J. Phys.*, 19, 1958, p. 390.
- TERRIEN (J.), Étalons de longueur d'onde dans le spectre visible du krypton 86 et du mercure 198, *Comptes Rendus Acad. Sc.*, 246, 1958, p. 2362.
- VOLET (Ch.), Qu'est-ce que le Système Métrique ? *Mesures*, 23, 1958, p. 179.
- THULIN (A.), Résultat d'une nouvelle détermination absolue de l'accélération due à la pesanteur au Pavillon de Breteuil, *Comptes Rendus Acad. Sc.*, 246, 1958, p. 3322.
- VOLET (Ch.), Le mètre et la seconde, *L'Age Nucléaire*, n° 11, 1958, p. 207.
- TERRIEN (J.), Rappel des principes fondamentaux de la spectrophotométrie, *Acta Electronica*, 2, n° 3, 1958, p. 429-439.
- MOREAU (H.), La nouvelle définition de l'unité de temps, *Électronique*, n° 142, 1958, p. 25-27.

CERTIFICATS.
NOTES D'ÉTUDE. RAPPORTS.

Pendant la période du 1^{er} septembre 1956 au 31 août 1958, 175 Certificats, 9 Notes d'étude et 1 Rapport ont été délivrés; on en trouvera la liste ci-après

CERTIFICATS.

1956.

N°		
68.	Quatre fils de 24 m, nos 211 à 214, un fil de 8 m, n° 210.....	Chine.
69.	Quatre fils de 24 m, nos 216 à 219, un fil de 8 m, n° 215.....	Id.
70.	Quatre fils de 24 m, nos 221 à 224, un fil de 8 m, n° 220.....	Id.
71.	Quatre fils de 24 m, nos 226 à 229, un fil de 8 m, n° 225.....	Id.
72.	Quatre fils de 24 m, nos 231 à 234, un fil de 8 m, n° 230.....	Id.
73.	Quatre fils de 24 m, nos 236 à 239, un fil de 8 m, n° 235.....	Id.
74.	Quatre fils de 24 m, nos 241 à 244, un fil de 8 m, n° 240.....	Id.
75.	Quatre fils de 24 m, nos 246 à 249, un fil de 8 m, n° 245.....	Id.
76.	Ruban de 4 m en invar n° 07....	Id.
77.	Ruban de 4 m en invar n° 08....	Id.
78.	Ruban de 4 m en invar n° 09....	Id.
79.	Ruban de 4 m en invar n° 010...	Id.
80.	Ruban de 4 m en invar n° 011...	Id.
81.	Ruban de 4 m en invar n° 012...	Id.
82.	Ruban de 4 m en invar n° 013...	Id.
83.	Ruban de 4 m en invar n° 014...	Id.
84.	Un Kilogramme en baros.....	Bulgarie.
85.	Règle de 1 m SIP, en acier-nickel, n° 128 R (addition).....	Id.

1956 (suite).

N°		
86.	Deux fils de 24 m, n ^{os} 1207 et 1314 (addition).....	Société Française de Stéréotopographie, Paris.
87.	Ruban de 4 m en invar n° 1551 U N° 117 (addition).....	Id.
88.	Deux fils de 24 m, n ^{os} 1071 et 1321 (addition).....	Id.
89.	Ruban de 4 m en invar n° 1551 U N° 116 (addition).....	Id.
90.	Un fil de 8 m.....	Secrétan, Paris.
91.	Ruban de 4 m en invar n° 015...	Chine.
92.	Ruban de 4 m en invar n° 016...	Id.
93.	Ruban de 4 m en invar n° 017...	Id.
94.	Ruban de 4 m en invar n° 018...	Id.
95.	Ruban de 4 m en invar n° 019...	Id.
96.	Quatre fils de 24 m, n ^{os} 251 à 254, un fil de 8 m, n° 250.....	Id.
97.	Quatre fils de 24 m, n ^{os} 256 à 259, un fil de 8 m, n° 255.....	Id.
98.	Quatre fils de 24 m, n ^{os} 261 à 264, un fil de 8 m, n° 260.....	Id.
99.	Quatre fils de 24 m, n ^{os} 266 à 269, un fil de 8 m, n° 265.....	Id.
100.	Quatre fils de 24 m, n ^{os} 271 à 274, un fil de 8 m, n° 270.....	Id.
101.	Six étalons secondaires de flux lumineux n ^{os} 51, 52, 53 (Tc 2 353° K) et n ^{os} G 40, G 44, G 52 (Tc 2 788° K).....	Office National des Mesures, Budapest.
102.	Six étalons secondaires d'intensité lumineuse n ^{os} C 11, 25, 34 (Tc 2 042° K) et n ^{os} W 32, W 34, W 36 (Tc 2 353° K).....	Id.
103.	Treize étalons secondaires de flux lumineux n ^{os} 8, 9, 15, 22, 49 (Tc 2 353° K) et n ^{os} 2, 6, 7, 17, 40, 42, 43, 47 (Tc 2 788° K).....	Id.
104.	Quatre fils de 24 m, n ^{os} 276 à 279, un fil de 8 m, n° 275.....	Chine.
105.	Quatre fils de 24 m, n ^{os} 281 à 284, un fil de 8 m, n° 280.....	Id.
106.	Étalon de résistance de 1 ohm n° 8230 (addition).....	Office National des Mesures, Budapest.
107.	Étalon de résistance de 1 ohm n° 2934.....	Id.

1956 (suite).

N°		
108.	Étalon de résistance de 10 ohms n° 34794.....	Office National des Mesures, Budapest.
109.	Étalon de résistance de 1 ohm n° 419124 (addition).....	Direction Générale de la Métro- logie, Bucarest.
110.	Cinq éléments Weston n°s 1 à 5..	Id.
111.	Élément Weston n° 54-06.....	Id.
112.	Ruban de 4 m en invar n° 1551 U N° 113.....	Cabinet Jarre, Paris.
113.	Un Kilogramme en laiton doré...	Administration des Monnaies et des Poids et Mesures, Stock- holm.
114.	Deux fils de 24 m, n°s 482 et 1320 (addition).....	Société Française de Stéréo- topographie, Paris.
115.	Ruban de 4 m en invar n° 020...	Chine.
116.	Ruban de 4 m en invar n° 021...	Id.
117.	Ruban de 4 m en invar n° 022...	Id.
118.	Ruban de 4 m en invar n° 023...	Id.
119.	Ruban de 4 m en invar n° 024...	Id.
120.	Ruban de 4 m en invar n° 025...	Id.
121.	Quatre fils de 24 m, n°s 286 à 289, un fil de 8 m, n° 285.....	Id.
122.	Quatre fils de 24 m, n°s 291 à 294, un fil de 8 m, n° 290.....	Id.
123.	Quatre fils de 24 m, n°s 296 à 299, un fil de 8 m, n° 295.....	Id.
124.	Quatre fils de 24 m, n°s 301 à 304, un fil de 8 m, n° 300.....	Id.
125.	Quatre fils de 24 m, n°s 306 à 309, un fil de 8 m, n° 305.....	Id.
126.	Quatre fils de 24 m, n°s 311 à 314, un fil de 8 m, n° 310.....	Id.
127.	Un Kilogramme en acier inoxy- dable.....	Administration des Monnaies et des Poids et Mesures, Stock- holm.

1957.

N°		
1.	Quatre fils de 24 m, n°s 316 à 319, un fil de 8 m, n° 315.....	Chine.
2.	Quatre fils de 24 m, n°s 321 à 324, un fil de 8 m, n° 320.....	Id.
3.	Quatre fils de 24 m, n°s 326 à 329, un fil de 8 m, n° 325.....	Id.

1957 (suite).

N°		
4.	Quatre fils de 24 m, n°s 331 à 334, un fil de 8 m, n° 330.....	Chine.
5.	Quatre fils de 24 m, n°s 336 à 339, un fil de 8 m, n° 335.....	Id.
6.	Quatre fils de 24 m, n°s 341 à 344, un fil de 8 m, n° 340.....	Id.
7.	Ruban de 4 m en invar n° 250...	Société Française de Stéréo- topographie, Paris.
8.	Ruban de 4 m en invar n° 251 (addition).....	Id.
9.	Quatre fils de 24 m, n°s 346 à 349, un fil de 8 m, n° 345.....	Chine.
10.	Quatre fils de 24 m, n°s 351 à 354, un fil de 8 m, n° 350.....	Id.
11.	Quatre fils de 24 m, n°s 361 à 364, un fil de 8 m, n° 360.....	Id.
12.	Quatre fils de 24 m, n°s 366 à 369, un fil de 8 m, n° 365.....	Id.
13.	Ruban de 24 m en invar n° 75 623.	École Supérieure Technique, Delft.
14.	Quatre fils de 24 m, n°s 371 à 374, un fil de 8 m, n° 370.....	Chine.
15.	Quatre fils de 24 m, n°s 376 à 379, un fil de 8 m, n° 375.....	Id.
16.	Quatre fils de 24 m, n°s 381 à 384, un fil de 8 m, n° 380.....	Id.
17.	Ruban de 4 m en invar n° 026...	Id.
18.	Ruban de 4 m en invar n° 027...	Id.
19.	Ruban de 4 m en invar n° 028...	Id.
20.	Ruban de 4 m en invar n° 029...	Id.
21.	Ruban de 4 m en invar n° 030...	Id.
22.	Ruban de 4 m en invar n° 031...	Id.
23.	Ruban de 4 m en invar n° 032...	Id.
24.	Deux thermomètres Prolabo n°s 367 et 368.....	Institut Français du Pétrole, Rueil-Malmaison.
25.	Quatre fils de 24 m, n°s 386 à 389, un fil de 8 m, n° 385.....	Chine.
26.	Quatre fils de 24 m, n°s 356 à 359, deux fils de 8 m, n°s 355 et 360 B.	République Syrienne.
27.	Quatre fils de 24 m, n°s 391 à 394, un fil de 8 m, n° 390.....	Chine.
28.	Quatre fils de 24 m, n°s 396 à 399, un fil de 8 m, n° 395.....	Id.

1957 (suite).

N°		
29.	Quatre fils de 24 m, n°s 50 à 53, un fil de 8 m, n° 49 (addition)...	Institut Géographique de l'Armée Populaire Yougoslave, Belgrade.
30.	Quatre fils de 24 m, n°s 676, 679, 680, 684, un fil de 8 m, n° 591 (addition).....	Id.
31.	Ruban de 4 m en invar n° 033...	République Syrienne.
32.	Ruban de 4 m en invar n° 034...	Id.
33.	Ruban de 4 m en invar n° 035...	Chine.
34.	Ruban de 4 m en invar n° 036...	Id.
35.	Ruban de 4 m en invar n° 037...	Id.
36.	Quatre fils de 24 m, n°s 401 à 404, un fil de 8 m, n° 400.....	Id.
37.	Quatre fils de 24 m, n°s 406 à 409, un fil de 8 m, n° 405.....	Id.
38.	Quatre fils de 24 m, n°s 411 à 414, un fil de 8 m, n° 410.....	Id.
39.	Quatre fils de 24 m, n°s 416 à 419, un fil de 8 m, n° 415.....	Id.
40.	Quatre fils de 24 m, n°s 421 à 424, un fil de 8 m, n° 420.....	Id.
41.	Ruban de 4 m en invar n° 038...	Id.
42.	Ruban de 4 m en invar n° 039...	Id.
43.	Ruban de 4 m en invar n° 040...	Id.
44.	Ruban de 4 m en invar n° 041...	Id.
45.	Ruban de 4 m en invar n° 042...	Id.
46.	Étalon de résistance de 0,1 ohm, n° 311789.....	Office National des Mesures, Budapest.
47.	Six éléments Weston n°s 306744 A, 306744 B, 306746 A, 306746 B, 306753 A, 306753 B.....	Id.
48.	Quatre fils de 24 m, n°s 1212, 1244, 1252, 1336, un fil de 8 m, n° 1241.	Ministère de la Marine, Madrid.
49.	Quatre fils de 24 m, n°s 426 à 429, un fil de 8 m n° 425.....	Chine.
50.	Quatre fils de 24 m, n°s 431 à 434, un fil de 8 m, n° 430.....	Id.
51.	Quatre fils de 24 m, n°s 436 à 439, un fil de 8 m, n° 435.....	Id.
52.	Quatre fils de 24 m, n°s 441 à 444, un fil de 8 m, n° 440.....	Id.
53.	Quatre fils de 24 m, n°s 446 à 449, un fil de 8 m, n° 445.....	Id.

1957 (suite).

N°		
54.	Quatre fils de 24 m, nos 451 à 454, un fil de 8 m, n° 450.....	Chine.
55.	Quatre fils de 24 m, nos 456 à 459, un fil de 8 m, n° 455.....	Id.
56.	Quatre fils de 24 m, nos 461 à 464, un fil de 8 m, n° 460.....	Id.
57.	Quatre fils de 24 m, nos 466 à 469, un fil de 8 m, n° 465.....	Id.
58.	Six thermomètres Proballo nos 132, 133, 135 à 138.....	Gaz de France, Paris.
59.	Ruban de 4 m en invar n° 043...	Chine.
60.	Ruban de 4 m en invar n° 044...	Id.
61.	Ruban de 4 m en invar n° 045...	Id.
62.	Ruban de 4 m en invar n° 046...	Id.
63.	Ruban de 4 m en invar n° 047...	Id.
64.	Ruban de 4 m en invar n° 048...	Id.
65.	Ruban de 4 m en invar n° 049...	Id.
66.	Ruban de 4 m en invar n° 050...	Id.
67.	Ruban de 4 m en invar n° 051...	Id.
68.	Étalon de résistance de 1 ohm n° 1985513 (addition).....	Bureau Fédéral des Poids et Mesures, Berne.
69.	Règle de 1 m en nickel, n° 79 (addi- tion).....	National Standards Labora- tory, Chippendale.
70.	Règle de 1 m en acier-nickel, n° 4028 (addition).....	Id.
71.	Règle de 1 m en nickel, n° 306 (addition).....	National Research Council, Ottawa.
72.	Mètre prototype N° 27 (addition)...	États-Unis d'Amérique.
73.	Mètre prototype N° 16 (addition)...	Royaume-Uni.
74.	Quatre fils de 24 m, nos 51 à 54, deux fils de 8 m, nos 49 et 50...	Ministère des Transports et des Travaux Publics du Brésil.
75.	Quatre fils de 24 m, nos 1254, 1264, 1334 B, 1342, un fil de 8 m, n° 1242.....	Administration Générale de Géodésie et de Cartographie de Bulgarie.
76.	Quatre fils de 24 m, nos 471 à 474, un fil de 8 m, n° 470.....	Chine.
77.	Quatre fils de 24 m, nos 476 à 479, un fil de 8 m, n° 475.....	Id.
78.	Quatre fils de 24 m, nos 481 à 484, un fil de 8 m, n° 480.....	Id.
79.	Quatre fils de 24 m, nos 486 à 489, un fil de 8 m, n° 485.....	Id.

1957 (suite).

N°		
80.	Quatre fils de 24 m, n ^{os} 491 à 494, un fil de 8 m, n ^o 490.....	Chine.
81.	Quatre fils de 24 m, n ^{os} 496 à 499, un fil de 8 m, n ^o 495.....	Id.
82.	Quatre fils de 24 m, n ^{os} 501 à 504, un fil de 8 m, n ^o 500.....	Id.
83.	Ruban de 4 m en invar n ^o 052...	Id.
84.	Ruban de 4 m en invar n ^o 053...	Id.
85.	Ruban de 4 m en invar n ^o 054...	Id.
86.	Ruban de 4 m en invar n ^o 055...	Id.
87.	Ruban de 4 m en invar n ^o 056...	Id.
88.	Ruban de 4 m en invar n ^o 057...	Id.
89.	Ruban de 4 m en invar n ^o 058...	Id.
90.	Ruban de 4 m en invar n ^o 059...	Id.
91.	Quatre fils de 24 m, n ^{os} 506 à 509, un fil de 8 m, n ^o 505.....	Id.
92.	Quatre thermomètres Prolabo n ^{os} 139, 143, 144, 145.....	Gaz de France, Paris.
93.	Cinq calibres étalons CEJ de 2, 25, 50, 75, 100 mm.....	Office National des Mesures, Budapest.
94.	Quatre thermomètres Prolabo n ^{os} 134, 140, 141, 142.....	Central Inspection Institute of Weights and Measures, Japon.
95.	Mètre prototype N ^o 27 (addition).	États-Unis d'Amérique.
96.	Quatre fils de 24 m, n ^{os} 511 à 514, un fil de 8 m, n ^o 510.....	Institut Géographique et Ca- dastral, Lisbonne.
97.	Ruban de 4 m en invar n ^o 060...	Id.
98.	Un calibre de 500 mm.....	Ateliers P. Morandea, Sèvres.

1958.

N°		
1.	Quatre fils de 24 m, n ^{os} 526 à 529, un fil de 8 m, n ^o 525.....	Bundesamt für Eich-und Ver- messungswesen, Wien.
2.	Ruban de 4 m en invar n ^o 061...	Id.
3.	Six calibres étalons en acier de 5, 15, 25, 50, 75, 100 mm.....	Bureau Fédéral des Poids et Mesures, Berne.
4.	Quatorze broches à bouts sphé- riques de 1 cm à 1 m.....	Société des Forges et Chantiers de la Méditerranée, La Seyne.
5.	Étalon de résistance de 10 ohms n ^o 000476.....	Direction Générale de la Métro- logie, Bucarest.
6.	Six étalons secondaires de flux lu- mineux n ^{os} 54 F, 56 F, 57 F (Tc 2 353° K) et n ^{os} 36 G, 42 G, 47 G (Tc 2 788° K).....	Id.

1958 (suite)

- | | | |
|-----|---|--|
| N° | | |
| 7. | Six étalons secondaires d'intensité lumineuse n°s 32 C, 139 C, 145 C (Tc 2 042° K) et n°s 42 W, 54 W, 85 W (Tc 2 353° K)..... | Direction Générale de la Métrologie, Bucarest. |
| 8. | Mètre prototype N° 18..... | Allemagne. |
| 9. | Six fils de 8 m, n°s X à XV..... | Chine. |
| 10. | Quatre fils de 24 m, n°s 50 à 53, un fil de 8 m, n° 49 (addition). | Institut Géographique de l'Armée Populaire Yougoslave, Belgrade. |
| 11. | Quatre fils de 24 m, n°s 676, 679, 680, 684, un fil de 8 m, n° 591 (add.).. | Id. |
| 12. | Kilogramme prototype N° 26 (add.). | U. R. S. S. |
| 13. | Trois thermomètres Prolabo n°s 146 à 148..... | Laboratoire Central de l'Armement, Paris. |
| 14. | Règle de 1 m, n° 426..... | Office National des Mesures, Budapest. |
| 15. | Série de masses de 1 à 500 mg et un cavalier de 10 mg..... | Direction Générale de la Métrologie, Bucarest. |
| 16. | Kilogramme n° 34 en « Nicral D ».. | Service des Poids et Mesures, Téhéran. |
| 17. | Quatre thermomètres Prolabo n°s 378 à 381..... | Institut Français du Pétrole, Rueil-Malmaison. |

NOTES D'ÉTUDE.

1956.

- | | | |
|-----|--|---|
| N° | | |
| 6. | Élément Weston du potentiomètre « L et N » n° 1034972..... | Directorate of Procurement, Central Air Material Area, Châteauroux. |
| 7. | Réglage à Tc 2 042° K et Tc 2 353°K des lampes n°s 53 et 54..... | Office National des Mesures, Budapest. |
| 8. | Deux éléments Weston n°s 306742 A et B (addition)..... | Id. |
| 9. | Deux éléments Weston n°s 302581 A et B..... | Id. |
| 10. | Deux fils de 20 m, n°s 164 et 240... | Cabinet Jarre, Paris. |
| 11. | Dilatation d'un fil en acier..... | Institut Géographique National, Paris. |

1957.

- | | | |
|----|--|----------------------|
| N° | | |
| 1. | Dilatation de six fils en invar de 24 m..... | C. E. R. N., Genève. |

1958.

- | | | |
|----|---------------------------------|--|
| N° | | |
| 1. | Fil de 6 m, n° 1056..... | Société Française de Stéréotopographie, Paris. |
| 2. | Thermomètre Prolabo n° 368..... | Institut Français du Pétrole, Rueil-Malmaison. |

RAPPORT.

1957.

- | | | |
|----|---|--|
| N° | | |
| 1. | Trois calibres en acier de 20, 50, 90 mm..... | Direction Générale de la Métrologie, Bucarest. |

V. — COMPTES.

Le compte rendu précédent, présenté au Comité International dans sa session de 1956, s'arrêtait au 31 décembre 1955. L'exposé qui suit comprend les mouvements des comptes du 1^{er} janvier 1956 au 31 décembre 1957, date du dernier bilan.

Par suite de la suppression en 1954 du Fonds de Réserve, la Caisse de Retraites a pris la désignation de Compte II et le Don Unique celle de Compte III. Un compte IV, intitulé « Amélioration du Matériel Scientifique », a été ouvert pour suivre l'emploi des contributions d'entrée des États adhérant à la Convention du Mètre.

COMPTE I.

FONDS DISPONIBLES.

	francs-or.
Actif au 1 ^{er} janvier 1956.....	95 629,30
Recettes du 1 ^{er} janvier 1956 au 31 décembre 1957 suivant détail donné au Tableau A (p. 61).....	883 697,30
Total.....	<u>979 326,60</u>
Dépenses du 1 ^{er} janvier 1956 au 31 décembre 1957 suivant détail donné au Tableau B (p. 62).....	755 898,83
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1957.....	223 427,77
Total.....	<u>979 326,60</u>

COMPTE II.

CAISSE DE RETRAITES.

	francs-or.
Actif au 1 ^{er} janvier 1956.....	37 163,29
Recettes du 1 ^{er} janvier 1956 au 31 décembre 1957 :	
Intérêts des titres.....	263,54
Retenues sur les traitements.....	13 277,29
Un tiers des taxes de vérification en 1956.....	20 140,55
Virements du Compte I.....	32 000,00
Total.....	<u>102 844,67</u>
Dépenses du 1 ^{er} janvier 1956 au 31 décembre 1957 :	
Pensions de M ^{mes} GILLON et LEVEUGLE, de MM. PÉRARD et MINAULT et des mineurs ROUX.....	54 740,70
Remboursement des versements de Mr GAUTIER.....	2 320,13
Différences de change.....	154,44
Moins-value des titres.....	1 325,46
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1957.....	44 303,94
Total.....	<u>102 844,67</u>

Le nouveau Règlement de la Caisse de Retraites a supprimé à partir du 1^{er} janvier 1957 la ristourne du tiers des taxes de vérification que la Caisse recevait antérieurement.

COMPTE III.

DON UNIQUE.

	francs-or.
Actif au 1 ^{er} janvier 1956.....	40 519,00
Dépenses en 1956 et 1957.....	40 519,00
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1957.....	<u>0,00</u>
Total.....	<u>40 519,00</u>

COMPTE IV.

AMÉLIORATION DU MATÉRIEL SCIENTIFIQUE.

	francs-or.
Recette en 1957 :	
Encaissement de la contribution d'entrée de l'Inde.....	98 419,00
Dépense en 1957.....	2 094,00
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1957.....	<u>96 325,00</u>
Total.....	<u>98 419,00</u>

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1957.

	francs-or.
Compte I « Fonds disponibles ».....	223 427,77
Compte II « Caisse de Retraites ».....	44 303,94
Compte III « Don unique ».....	0,00
Compte IV « Amélioration du matériel scientifique ».....	96 325,00
ACTIF NET.....	<u>364 056,71</u>

Cet actif se décompose comme suit :

a. Les titres :

Valeur comptabilisée..... 45 792,98

b. L'or :

Un lingot..... 44 026,98

Pièces d'or..... 820,00

c. Les fonds déposés en banque :

1° En francs français..... 31 587,23

2° En dollars..... 105 118,06

3° En francs suisses..... 121 732,66

4° En livres sterling..... 21 647,40

d. Les espèces en caisse..... 3 959,40

Total..... 374 684,71

A déduire :

Provision pour remboursements aux États..... 10 628,00

ACTIF NET..... 364 056,71

Le portefeuille des titres a la composition suivante :

TITRES DU COMPTE I.

11 actions de jouissance Suez;	
3 parts de fondateur Suez;	
3 050 £ de capital War Loan 3,50 %;	
30 000 francs suisses obligations C. F. F. 3 % 1938;	
Valeur comptabilisée.....	francs-or. <u>44 066,63</u>

TITRES DU COMPTE II.

3 actions de capital Suez;	
Valeur comptabilisée.....	<u>1 726,35</u>
Total.....	<u>45 792,98</u>

Aucun mouvement de valeurs n'est intervenu pendant les années 1956 et 1957.

TABLEAU A. — Recettes du Compte I de 1951 à 1957 (francs-or).

	1951.	1952.	1953.	1954.	1955.	1956.	1957.
CONTRIBUTIONS RÉGLEMENTAIRES :							
Pour l'année en cause.....	96 305,00	116 163,18	144 215,00	162 190,00	262 109,00	276 869,00	313 260,00
Arriérées.....	18 034,56	108 832,05	9 841,00	57 386,00	22 200,00	44 962,00	59 802,00
Anticipées.....	14 950,82	18 062,00	22 835,00	32 397,00	32 706,00	37 051,00	31 737,00
Total.....	129 290,38	243 057,23	176 891,00	251 973,00	317 015,00	358 882,00	404 799,00
Contributions d'entrée.....	-	-	-	25 943,00	-	-	-
Intérêts des Titres et des Fonds.....	3 146,20	3 733,79	4 376,11	3 121,31	2 412,80	2 459,40	2 275,02
Taxes de vérification ⁽¹⁾	3 266,75	2 104,35	4 077,03	2 073,89	3 465,28	40 281,09	72 901,91
Recettes diverses.....	880,77	2 575,15	2 116,38	3 673,08	1 049,44	1 049,44	1 049,44
Prélèvement sur le compte « Remboursements aux États ».....	62 093,00	9 229,50	-	-	11 654,00	-	-
Total général.....	198 677,10	260 700,02	187 460,52	286 784,28	335 596,52	402 671,93	481 025,37

(¹) Les deux tiers du produit des taxes de vérification pour les exercices antérieurs à 1957; la totalité à partir de l'exercice 1957.

TABLEAU B. — Dépenses du Compte I de 1951 à 1957 (francs-or).

CHAPITRES DE DÉPENSES.	1951.	1952.	1953.	1954.	1955.	1956.	1957.
A. PERSONNEL :							
Traitements, indemnités, charges de famille...	142 655,48	150 487,55	168 547,50	197 393,94	215 523,39	218 083,15	230 824,48
B. INDEMNITÉ DU SECRÉTAIRE :							
B. INDEMNITÉ DU SECRÉTAIRE.....	3 000,00	3 000,00	3 000,00	3 000,00	3 000,00	3 000,00	3 000,00
C. FRAIS GÉNÉRAUX D'ADMINISTRATION :							
Bâtiments et dépendances.....	18 027,95	38 539,70	24 216,59	74 188,20	65 074,46	30 583,64	34 322,64
Mobilier.....	2 989,45	1 533,85	2 183,63	7 645,35	-	1 007,83	3 736,86
Laboratoire et atelier.....	16 051,51	53 517,85	35 675,85	20 258,63	22 861,16	39 156,50	43 238,32
Chauffage, éclairage, force motrice.....	14 342,52	15 935,95	15 258,68	12 612,50	14 788,07	18 579,73	17 517,23
Primes d'assurances.....	684,92	1 794,83	1 221,66	1 220,63	1 190,63	1 190,63	1 604,47
Bibliothèque.....	2 550,13	3 273,14	2 396,82	2 226,90	2 415,40	3 021,23	2 921,77
Impressions et publications.....	1 429,96	4 892,68	1 895,07	20 270,16	9 222,08	12 952,90	5 989,35
Frais de bureau.....	5 518,60	5 957,64	5 764,95	7 054,04	4 690,46	6 566,20	10 944,17
Voyages.....	2 301,35	1 333,78	1 425,34	521,81	611,45	1 874,14	5 790,38
Frais divers et imprévus.....	3 976,95	6 007,70	4 821,62	7 271,05	3 168,42	2 123,40	1 843,37
Versements à la Caisse de Retraites.....	15 000,00	15 000,00	-	-	15 000,00	15 000,00	17 000,00
D. DÉPENSES OCCASIONNELLES :							
Emploi de contributions d'entrée.....	-	-	-	25 943,00	-	-	-
Différences de change.....	-	-	-	-	-	-	3 533,84
Moins-value des titres.....	-	-	-	-	-	13 914,60	-
Provision pour remboursements aux États.....	-	-	-	2 944,50	-	-	6 578,00
Total.....	228 528,82	301 274,67	266 407,71	382 550,71	357 545,52	367 053,95	388 844,88

Mr le PRÉSIDENT remercie Mr VOLET de son exposé; il le félicite pour l'ensemble des travaux effectués au Bureau International et le prie de transmettre à ses collaborateurs l'expression de la satisfaction du Comité.

Au sujet du Rapport du Secrétaire du Comité, Mr VOLET fait remarquer que le Chili et l'Uruguay, qui ont six ans et huit ans de retard dans le paiement de leurs contributions, devraient réglementairement être exclus de la Convention du Mètre et que la Onzième Conférence Générale devra sans doute prendre une décision sur ce point.

Mr le PRÉSIDENT propose qu'une lettre officielle du Comité International soit adressée à ces deux États, ainsi qu'au Pérou qui s'est retiré de la Convention en laissant un arriéré de six années.

Mr le PRÉSIDENT constate que la situation financière du Bureau International paraît cependant assez satisfaisante. Mr CASSINIS remarque que cela est dû à une gestion très prudente, mais qu'il ne faut pas se dissimuler qu'une réorganisation et des ressources accrues s'imposent pour que le Bureau International puisse répondre à ce qu'on attend de lui. Mr VOLET reviendra sur cette question, qui est particulièrement grave surtout en ce qui concerne le personnel scientifique.

Il est ensuite procédé à la désignation des Membres des deux Commissions habituelles. Pendant une courte pause, ces Commissions se constituent comme suit

Commission Administrative : MM. DE BOER (Président), STULLA-GÖTZ (Rapporteur), ESSERMAN, NUSSBERGER, YAMAUTI.

Commission des Travaux : MM. OTERO (Président), BARRELL (Rapporteur), ASTIN, BOURDOUN, HOWLETT, SIEGBAHN.

Le Comité établit ensuite le programme de ses prochaines séances.

La séance est levée à 12^h15^m.

PROCÈS-VERBAL

DE LA DEUXIÈME SÉANCE

TENUE AU BUREAU INTERNATIONAL

Mardi 30 septembre 1958

PRÉSIDENCE DE Mr A. DANJON

La séance est ouverte à 9^h55^m.

Sont présents : MM. DANJON, ASTIN, BARRELL, DE BOER, BOURDOUN, CASSINIS, ESSERMAN, HOWLETT, OTERO, STULLA-GÖTZ, VIEWEG, YAMAUTI et VOLET.

Assistent à la séance : MM. PÉRARD, TERRIEN, ALIANAKI et WAIT.

Discussion du Projet de Révision de la Convention du Mètre.

Mr le PRÉSIDENT ouvre la discussion sur le Rapport de la Commission pour la Révision de la Convention du Mètre (*voir* Annexe 1, p. 93). Cette Commission, qui a tenu quatre séances les 28 et 29 avril 1958, présente deux projets entre lesquels le Comité aura à choisir : 1^o le projet établi par la Commission qui propose l'amendement de quelques articles seulement de la Convention du Mètre (p. 96); 2^o le projet de refonte complète de la Convention établi par Mr CASSINIS à la demande de la Commission (p. 98).

Mr VIEWEG opte pour une simple modification de la Convention en vigueur, tandis que Mr CASSINIS soutient que la révision complète de celle-ci fournirait une nouvelle Convention qui aurait des chances de durer plus longtemps avant de nécessiter une nouvelle révision. Mr OTERO est du même avis que Mr Vieweg et insiste sur l'effet psychologique que pourrait avoir l'élabo-

ration d'une nouvelle Convention, en particulier sur des États ayant des liens assez lâches avec notre Organisation.

Mr CASSINIS fait remarquer que le préambule du Projet de refonte indique clairement qu'il s'agit d'une modification de la Convention signée à Paris le 20 mai 1875 et de celle signée à Sèvres le 6 octobre 1921.

Mr VOLET est lui aussi d'avis que la Convention actuelle est désuète et que changer un grand nombre d'articles est aussi compliqué que de faire une nouvelle Convention. Il partage cependant l'opinion de MM. Vieweg et Otero; la signature d'une Convention entièrement nouvelle risque de donner l'impression d'une rupture avec le passé; or il faut qu'il soit bien entendu que le Bureau International est celui qui a été fondé en 1875.

Mr ASTIN appuie ce point de vue en ajoutant que, puisque la nouvelle Convention devra être ratifiée par les Gouvernements des États-membres, il serait préférable qu'il y ait le moins de modifications possible, afin que cette ratification ait des chances d'être obtenue rapidement.

Mr VIEWEG fait remarquer que, même si le Comité décide de proposer une modification limitée à quelques articles, certaines formules du projet présenté par M. Cassinis pourraient être adoptées.

Après avoir constaté qu'une majorité se dégage en faveur d'une modification limitée, Mr le PRÉSIDENT donne la parole à Mr VOLET, Rapporteur de la Commission pour la Révision de la Convention du Mètre, pour commenter les principaux points du Projet de modification.

Un des buts principaux de cette révision est de permettre une extension des activités du Bureau International, selon les désirs exprimés par divers États. Pour cela, la Commission propose que l'article 7 de la Convention, qui avec l'article 6 définit les tâches du Bureau International, soit remplacé par un texte beaucoup plus large. Mr CASSINIS fait remarquer que, dans ces conditions, l'article 6 devient presque inutile. Mr DE BOER, tout en étant d'accord avec Mr Cassinis, note que l'article 6 s'occupe uniquement du Mètre et du Kilogramme; il propose en conséquence quelques changements au nouvel article 7. Mr OTERO trouve que la distinction entre les articles 6

et 7 est artificielle et conseille de les fondre en un seul article. Mr le PRÉSIDENT insiste sur le fait que l'article 6 a un intérêt historique et qu'il a été maintenu même en 1921. Mr VOLET approuve ce point de vue et mentionne l'intérêt de conserver aux articles inchangés le même numéro d'ordre, ce qui ne serait pas possible en fusionnant des articles ou en en intercalant d'autres. Mr le PRÉSIDENT constate que le Comité est d'accord pour conserver l'article 6 inchangé.

En ce qui concerne la nouvelle rédaction de l'article 7 proposée par la Commission, Mr OTERO suggère de remplacer le mot « directives » par « décisions »; Mr le PRÉSIDENT fait remarquer que les décisions de la Conférence Générale sont des résolutions et propose le remplacement du mot « directives » par « résolutions ». Sur la suggestion de Mr VIEWEG, l'alinéa 1^o est modifié comme suit : « 1^o d'établir les étalons fondamentaux et les échelles des grandeurs physiques ». Ces modifications sont adoptées.

Mr CASSINIS souligne que l'article 5 mentionne le Règlement annexé à la Convention et constate qu'il risque d'être en contradiction avec l'article 15 (nouveau). Une discussion, à laquelle prennent part MM. le PRÉSIDENT, ASTIN, DE BOER, CASSINIS, VIEWEG et VOLET, s'engage au sujet de la hiérarchie respective de la Convention et du Règlement. Mr VOLET fait remarquer que l'inconvénient majeur du Règlement actuel provient du fait qu'il fixe la dotation du Bureau International; celle-ci, d'après le nouvel article 6 du Règlement, serait désormais fixée par la Conférence Générale, et le Règlement ne risquerait plus de gêner le développement du Bureau International. L'article 15 (nouveau) pourrait donc être supprimé.

Mr OTERO souhaiterait que l'article 9 de la Convention soit modifié, pour que la contribution des États contractants soit basée non sur leur population actuelle, mais sur leur revenu national.

Mr VOLET lit la nouvelle rédaction de l'article 6 du Règlement et fait remarquer que l'éventail des contributions, qui était de 1 à 30, serait désormais réduit de moitié (1 à 15). De plus, chaque État pourrait demander une réduction jusqu'à 50 % de sa contribution. Par exemple, un pays de 80 millions d'habitants, dont la contribution annuelle serait actuellement de 33 000 francs-or, aurait, d'après la proposition de la Commission, une contri-

bution de 23 000 francs-or, qui pourrait être réduite jusqu'à 11 500 francs-or. Mr YAMAUTI souhaiterait que les conditions à remplir pour obtenir une réduction soient indiquées plus clairement. Mr OTERO insiste sur l'utilité de se référer au revenu national, en donnant l'exemple de l'Inde qui paierait la même contribution que les États-Unis d'Amérique. D'autre part, il est désagréable pour un État de demander une réduction, qui entraînerait en contre-partie une augmentation de la contribution des autres États.

Mr VOLET souligne que la Commission a examiné ces objections, mais que la notion de revenu national est très complexe; il y a à l'Organisation des Nations Unies (O. N. U.) une Commission spéciale chargée de l'établir et qui se heurte à bien des difficultés. Mr le PRÉSIDENT est du même avis. En outre, Mr VIEWEG fait remarquer que, si l'on utilisait les bases établies par l'O. N. U. à ce sujet, une complication surgirait du fait que certains de nos États-membres ne font pas partie de l'O.N.U. Mr VOLET indique que, d'après les barèmes de l'O. N. U., il y a un rapport de 660 entre la contribution du pays le plus imposé et celle du pays le moins imposé; un tel barème conduirait ces pays à payer dans notre Organisation 133 600 francs-or au maximum et 200 francs-or au minimum. Mr ASTIN rappelle que la Commission a beaucoup discuté cette question.

Mr le PRÉSIDENT propose de modifier le deuxième alinéa de la nouvelle rédaction de l'article 6 du Règlement comme suit : « Pour la même période, la Conférence Générale répartit la dotation annuelle entre les États-membres en tenant compte de leur population à l'époque de la Conférence Générale, comme il est exposé ci-après. En outre, elle peut accorder aux États qui en font la demande, compte tenu de leur revenu national, des réductions pouvant atteindre 50 pour cent. » Cette proposition recueille l'approbation de MM. OTERO et YAMAUTI, et l'article 6 modifié est approuvé dans son ensemble.

Mr le PRÉSIDENT, poursuivant l'examen du Règlement, ouvre la discussion sur l'article 7. Après un large échange de vues, il est finalement décidé que la majorité requise pour le vote d'une Résolution doit être simplement la majorité absolue des États représentés, mais que l'article 6 du Règlement doit être complété par la phrase suivante, à insérer à la fin du premier alinéa : « La majorité requise pour l'adoption du montant de

cette dotation est la majorité des trois quarts des États représentés ».

Une discussion, à laquelle prennent part MM. le PRÉSIDENT, ASTIN, DE BOER, BOURDOUN, CASSINIS et VOLET, s'engage ensuite au sujet du projet de modification de l'article 8; il est décidé de revenir sur cette question dans la séance suivante.

Au sujet de l'article 9, Mr le PRÉSIDENT propose le remplacement du mot « présidence » par le mot « bureau ». Cette proposition est adoptée.

Les articles 10 et 11 seront conservés sans changement.

Dans l'article 12, la proposition de Mr VOLET de remplacer « voix délibérative » par « voix consultative » est approuvée.

La nouvelle rédaction de l'article 15 est adoptée.

L'article 19 mentionne le rapport d'un expert-comptable, dont MM. CASSINIS et VOLET font valoir la nécessité. Mr DE BOER approuve vivement la décision de faire contrôler la comptabilité du Bureau par un expert; mais il estime que cette décision pourrait résulter d'une délibération du Comité, sans qu'il soit nécessaire d'en faire mention dans la Convention ou dans son Règlement annexé. Mr ASTIN appuie la proposition de la Commission et le début de l'article 19 est approuvé dans la forme suivante : « Le Directeur du Bureau adresse au Comité, à chaque session : 1° Un Rapport financier, accompagné du rapport d'un expert-comptable agréé, sur les comptes des exercices précédents, dont il lui est, après vérification, donné décharge ».

Le Comité est d'accord pour supprimer les articles 20 et 21.

Mr le PRÉSIDENT pense que l'article 22 du Règlement, ainsi d'ailleurs que l'article 12 de la Convention, ayant trait à la souveraineté nationale, devraient être conservés. A propos de l'article 12 (Convention), Mr VOLET attire l'attention sur l'ambiguïté des mots « d'un commun accord »; il lit un passage des Comptes Rendus de la Conférence Générale de 1907 (p. 26), dans lequel le sens de ces mots est précisé.

Le Comité décide finalement que ces deux articles seront conservés sans changement.

La séance est levée à 12^h40^m.

PROCÈS-VERBAL

DE LA TROISIÈME SÉANCE

TENUE AU BUREAU INTERNATIONAL

Jeudi 2 octobre 1958

PRÉSIDENCE DE Mr A. DANJON

La séance est ouverte à 9^h55^m.

Sont présents : MM. DANJON, ASTIN, BARRELL, DE BOER, BOURDOUN, CASSINIS, ESSERMAN, HOWLETT, OTERO, STULLA-GÖTZ, VIEWEG, YAMAUTI et VOLET.

Assistent à la séance : MM. PÉRARD, TERRIEN, ALIANAKI et WAIT.

Discussion du Projet de Révision de la Convention du Mètre (suite).

Mr le PRÉSIDENT demande à Mr VOLET de donner lecture du nouveau projet de modification de la Convention du Mètre, tel qu'il résulte des travaux de la séance précédente.

Mr ASTIN fait observer qu'il eût aimé que l'article 5 de la Convention fût modifié. Mr le PRÉSIDENT note à ce sujet que la modification de l'article 6 du Règlement rend moins nécessaire la modification de l'article 5 de la Convention; de toute façon cette question sera soumise à l'appréciation de diplomates.

Mr ASTIN considère que la Convention seule devrait être du ressort des Gouvernements, tandis que le Règlement devrait être subordonné à la Conférence Générale. Mr CASSINIS est de cet avis et remarque que si le Règlement était indépendant de la Convention, il pourrait être modifié plus facilement.

Mr VOLET propose de modifier l'article 5 en remplaçant « le Règlement annexé à la présente Convention » par « un Règlement établi par la Conférence Générale ».

Mr ESSERMAN désirerait que la procédure de révision du Règlement soit indiquée de façon explicite. Mr le PRÉSIDENT ne pense pas que ceci soit important, car c'est la Conférence Générale qui décide des modifications.

Mr BOURDOUN trouve que l'article 5 de la Convention est lié à l'article 22 du Règlement et souhaiterait que cette question soit renvoyée à la Commission pour nouvelle étude. Mr le PRÉSIDENT approuve cette suggestion.

En ce qui concerne l'article 7 du Règlement, troisième alinéa, Mr TERRIEN remarque que la majorité requise est bien spécifiée pour le vote d'une Résolution, mais non pour l'élection des Membres du Comité International; après discussion de ce point, la fin de cet alinéa est modifiée comme suit : « La majorité requise pour les votes est la majorité absolue des États représentés, sauf dans le cas prévu à l'article 6 du Règlement ».

A ce même article 7, Mr ASTIN propose de remplacer la fin du deuxième alinéa comme suit : « . . . , au scrutin secret, à l'élection de nouveaux Membres aux sièges vacants du Comité International conformément à l'article 8 du Règlement ». Le deuxième alinéa de cet article 8 pourrait alors être modifié comme suit : « Le Comité International élit provisoirement les Membres aux places devenues vacantes dans l'intervalle de deux sessions de la Conférence Générale. A chaque session de la Conférence Générale, les sièges provisoirement pourvus, ainsi que les sièges occupés par les Membres élus ou réélus au cours de l'avant-dernière Conférence Générale, ou antérieurement, sont considérés comme vacants ».

Mr VOLET apprécie le fait que les Membres sortants ne seront plus ainsi désignés au dernier moment par tirage au sort, mais pourront être connus à l'avance. Le Comité est unanimement d'accord sur le fond de cette modification.

A l'article 15, Mr le PRÉSIDENT demande que « élaborera » soit remplacé par « élabore » et que, d'une façon générale, on emploie le temps présent au lieu du futur. Mr VIEWEG demande en outre la suppression du mot « détaillé ».

Au sujet de l'article 22, Mr le PRÉSIDENT remarque qu'il pourrait être supprimé si l'article 5 de la Convention était modifié après consultation d'experts diplomates. Cette question est renvoyée à la Commission.

Travaux des Comités Consultatifs.

Mr le PRÉSIDENT prie Mr HOWLETT de présenter le Rapport du *Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (Procès-Verbaux C. I. P. M., 26-B, 1958, p. M 32)*. Après avoir résumé les travaux de ce Comité Consultatif, Mr HOWLETT lit la Recommandation soumise au Comité International (p. M 39).

Mr le PRÉSIDENT rend hommage à la façon dont Mr HOWLETT a présidé les travaux de ce Comité Consultatif et constate avec satisfaction que la recommandation finale a été adoptée à l'unanimité. Il rappelle que le Comité International doit établir, pour la Onzième Conférence Générale, un projet de Résolution concernant le changement de la définition du mètre, et présente un texte au Comité.

Mr VOLET constate que ce texte comporte deux parties : les considérants et les considérés. Il souhaiterait que la deuxième partie soit particulièrement concise; c'est elle qui contient la nouvelle définition du mètre et qui sera reproduite dans les législations, les ouvrages scientifiques, etc.

Mr STULLA-GÖTZ préférerait que ce projet de Résolution se borne à énoncer en termes lapidaires la nouvelle définition.

Mr ASTIN s'oppose fermement à la suppression des considérants. Il craint même qu'on ne soit trop pressé de conclure; la transition spectrale proposée a le défaut fondamental de ne pas être utilisable en absorption; il demande que le Comité Consultatif soit chargé officiellement de continuer les recherches vers l'amélioration des étalons de longueur et des techniques de mesure associées.

Mr le PRÉSIDENT rappelle qu'il s'est écoulé dix ans depuis que la Conférence Générale de 1948 a proposé la modification de la définition du mètre. On ne peut pas dire que le projet de Résolution ait été rédigé à la hâte.

Mr HOWLETT déclare que le Comité Consultatif qu'il préside

se rend compte de ce que la définition proposée n'est pas absolument parfaite, mais elle est la meilleure que l'on puisse trouver pour le moment et elle est meilleure que celle qui est en vigueur actuellement.

Mr le PRÉSIDENT propose que soient rédigées deux Résolutions distinctes et que MM. HOWLETT, ASTIN et lui-même, avec M. TERRIEN comme secrétaire, se réunissent en vue de leur préparation.

Mr ASTIN trouve que le Comité International risque d'aller trop vite en besogne. Il aimerait qu'avant de changer la définition du mètre, trois Laboratoires nationaux au moins aient réalisé la comparaison du Mètre avec le nouvel étalon, ce qui permettrait de mieux assurer la continuité de l'unité de longueur; ce travail important pourrait être terminé avant la Conférence Générale de 1960.

Mr BARRELL ne pense pas que la proposition de Mr ASTIN soit opportune, bien qu'elle permettrait de montrer avec quelle précision on peut rattacher les longueurs à traits aux longueurs d'onde.

Mr VOLET rappelle qu'il avait lui-même recommandé de suivre la procédure proposée par Mr ASTIN, mais que le Comité International a décidé de rattacher en réalité le mètre à la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium.

Mr PÉRARD évoque le précédent du passage du Mètre des Archives au Mètre international; aujourd'hui encore, le nouvel étalon est beaucoup plus précis que l'ancien, et il serait vain de chercher à mesurer le Prototype international avec une précision qu'il est incapable de donner.

Mr VIEWEG insiste pour que la nouvelle définition soit prête pour 1960, car on enregistre déjà des demandes d'étalons de longueur d'onde.

Finalement, le Comité est d'accord pour que deux Résolutions soient rédigées : l'une pour énoncer la nouvelle définition du mètre et abroger l'ancienne, l'autre pour demander que le Comité International poursuive la recherche de meilleurs étalons.

Mr le PRÉSIDENT rappelle le but et les travaux du *Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde*, qui s'est réuni

pour la première fois en juin 1957 sous sa présidence (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 26-B, 1958, p. S 24).

Il rappelle également que la Résolution 1 adoptée par le Comité International en 1956 (*Procès-Verbaux*, 25, p. 77) a défini la seconde par la fraction $1/31\ 556\ 925, 974\ 7$ de l'année tropique, au lieu de $\frac{12\ 960\ 276\ 813}{408\ 986\ 496} \cdot 10^{-9}$. L'Union Astronomique Internationale, lors de sa Dixième Assemblée générale à Moscou en août 1958, a enregistré avec satisfaction cette définition, et elle a également décidé que la valeur numérique adoptée par le Comité International, avec quatre décimales après la virgule, devra être considérée comme exacte par convention. Le travail du Comité International a donc été très utile.

Mr DE BOER commente ensuite les travaux du *Comité Consultatif de Thermométrie* (ce volume, p. T 29). La Recommandation que ce Comité Consultatif a rédigée concernant une nouvelle échelle pour le thermomètre à tension de vapeur de l'hélium a déjà été présentée au Congrès International des Basses Températures (Leiden, juin 1958), qui l'a accueillie favorablement.

Mr ASTIN suggère que le Comité Consultatif de Thermométrie organise des mesures comparatives de pyrométrie optique et s'occupe des températures très élevées au-delà du domaine couvert par les pyromètres optiques.

Mr BOURDOUN propose de désigner l'Échelle Internationale de Température de 1948 sous le nom d'« Échelle Pratique ». En effet, le qualificatif « international » appliqué à l'Échelle Internationale et au degré de cette Échelle, prête à confusion avec l'unité de température du Système International d'Unités recommandé par le Comité International en 1956 (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 25, p. 83). Cette proposition est acceptée par Mr DE BOER qui, appuyé par MM. ESSERMAN, STULLA-GÖTZ et VOLET, demande que l'on tienne compte de cette suggestion dans la nouvelle rédaction du texte de l'Échelle qui doit être présenté à la Conférence Générale en 1960.

Mr ESSERMAN indique que l'Australie désire que le domaine de température entre 20 et 27° K ne soit pas encore compris dans l'Échelle Internationale (1). Mr DE BOER précise à ce sujet

(1) Note ajoutée aux épreuves. — Des recherches effectuées au National Standards Laboratory et ailleurs ont en effet montré qu'au-dessus de 26° K

que le Comité Consultatif, en établissant une nouvelle rédaction de cette Échelle, n'a pas encore voulu changer ni étendre le domaine de l'Échelle Internationale de Température; ce n'est que lors d'une révision véritable de l'Échelle Internationale, probablement en 1966, que l'« Échelle ^3He 1958 », et peut-être une échelle pour l'intervalle 20-27° K, pourront y être ajoutées.

Compte tenu de ces remarques, le Comité approuve les conclusions du Comité Consultatif de Thermométrie.

La séance est levée à 12^h5^m.

environ, la variation de la résistance électrique du platine pur était d'autant plus grande que le platine était plus pur, alors que le phénomène inverse se produit au-dessous de cette température. Les méthodes proposées par le Kamerlingh Onnes Laboratorium et le National Physical Laboratory (Annexes T 2, T 3 et T 4 du Comité Consultatif de Thermométrie, ce volume pp. T 42-T 58), pour étendre l'Échelle jusqu'au point d'ébullition de l'hydrogène normal ne tenant pas compte de ce phénomène, elles ne peuvent conduire à une Échelle aussi reproductible qu'avec une méthode limitant la formule d'interpolation à 26° K. Cette température d'inversion se trouvant être très voisine du point d'ébullition normal du néon (27,07° K), ce dernier pourrait être utilisé comme point d'étalonnage terminal pour une portion de l'Échelle; l'Échelle pourrait ensuite être étendue au-dessous de 27° K en adoptant la température de l'hydrogène comme point d'étalonnage et un procédé d'interpolation convenable.

PROCÈS-VERBAL

DE LA QUATRIÈME SÉANCE

TENUE AU BUREAU INTERNATIONAL

Vendredi 3 octobre 1958

PRÉSIDENTICE DE Mr A. DANJON

La séance est ouverte à 9^h50^m.

Sont présents : MM. DANJON, ASTIN, BARRELL, DE BOER, BOURDOUN, CASSINIS, ESSERMAN, HOWLETT, OTERO, STULLA-GÖTZ, VIEWEG, YAMAUTI et VOLET.

Assistent à la séance : MM. TERRIEN, ALIANAKI et WAIT.

Travaux des Comités Consultatifs (suite).

Mr le PRÉSIDENT donne lecture des deux Résolutions relatives à la définition du mètre, qui ont été rédigées par la petite Commission constituée à la précédente séance. Après quelques observations formulées par MM. DE BOER et VOLET, les deux projets de Résolutions sont approuvés à l'unanimité sous la forme suivante

Projet de Résolution 1.

La Onzième Conférence Générale des Poids et Mesures, considérant que le Prototype international ne définit pas le mètre avec une précision suffisante pour les besoins actuels de la métrologie,

qu'il est d'autre part désirable d'adopter un étalon naturel et indestructible,

décide :

1° Le mètre est la longueur égale à 1 650 763,73 longueurs d'onde dans le vide de la radiation correspondant à la transition entre les niveaux $2p_{10}$ et $5d_5$ de l'atome de krypton 86.

2° La définition du mètre en vigueur depuis 1889, fondée sur le Prototype international en platine iridié, est abrogée.

Projet de Résolution 2.

La Onzième Conférence Générale des Poids et Mesures invite le Comité International des Poids et Mesures

1° à établir des instructions pour la mise en pratique de la nouvelle définition du mètre;

2° à poursuivre les études entreprises en vue d'améliorer les étalons de longueur.

Mr le PRÉSIDENT donne la parole à Mr VIEWEG pour rendre compte des travaux du *Comité Consultatif d'Électricité* qui s'est réuni sous sa présidence en juin 1957 (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 26-B, 1958, p. E 16). Après son exposé, Mr VIEWEG propose que la prochaine session de ce Comité Consultatif n'ait pas lieu avant 1961, afin de permettre que des progrès suffisants soient réalisés dans les mesures absolues en cours ou en projet.

Mr VOLET mentionne que le Comité Consultatif d'Électricité a reconnu que les comparaisons internationales, actuellement effectuées tous les deux ans, pourraient être plus espacées sans inconvénient; il propose qu'elles aient lieu désormais tous les trois ans. Le Comité International approuve cette nouvelle périodicité et il est entendu que la prochaine comparaison internationale des étalons électriques aura lieu en 1960, après la réunion de la Conférence Générale.

Mr ASTIN demande s'il a été recommandé aux Laboratoires nationaux de mesurer le rapport gyromagnétique du proton.

Mr VIEWEG répond que cette recommandation n'a pas été faite. Il convient à ce propos de considérer deux points : 1° le Comité Consultatif d'Électricité étendrait son action aux mesures magnétiques; 2° une coordination internationale serait utile pour l'évaluation du champ magnétique. Mr VIEWEG reconnaît l'intérêt de la question et suggère qu'il soit demandé aux Laboratoires nationaux de présenter, à la prochaine session du Comité Consultatif, des rapports sur leurs travaux concernant cette détermination.

Mr BARRELL signale que le N. P. L. a entrepris de déterminer les rapports e/m et e/M .

Mr ASTIN indique que de telles mesures sont en cours au N. B. S., où l'on espère obtenir une précision de 10^{-6} ; mais il aimerait que les résultats et leur précision soient confrontés avec ceux qui sont obtenus dans d'autres laboratoires.

Mr BOURDOUN signale que des mesures du champ magnétique à l'aide du rapport gyromagnétique du proton ont été effectuées à l'Institut de Métrologie, et il appuie la proposition de MM. ASTIN et VIEWEG.

Le Comité International adopte ce point de vue et le Comité Consultatif d'Électricité est chargé d'examiner les résultats obtenus dans ce domaine des mesures magnétiques.

Mr le PRÉSIDENT donne la parole à Mr OTERO pour présenter le Rapport du *Comité Consultatif de Photométrie (Procès-Verbaux C. I. P. M., 26-B, 1958, p. P 31)*.

Après l'exposé de Mr OTERO, Mr TERRIEN remarque que, si ce Rapport est approuvé, de nouvelles et lourdes tâches vont incomber au Bureau International, à savoir les comparaisons spectrophotométriques des lampes étalons. Mr VOLET en conclut que ces nouvelles tâches nécessiteront une augmentation du budget et du personnel du Bureau International et Mr le PRÉSIDENT attire l'attention sur le bien-fondé de cette remarque.

Mr ASTIN demande si des comparaisons radiométriques ont été envisagées. Mr OTERO conseille que les travaux dans ce domaine soient poursuivis dans les Laboratoires nationaux et Mr VIEWEG propose que leurs résultats soient présentés au Comité Consultatif, selon une procédure analogue à celle qui vient d'être décidée en électricité pour la mesure du rapport gyromagnétique du proton.

Le Comité International approuve cette proposition.

**Extension des activités du Bureau International aux étalons
de radioactivité.**

Mr le PRÉSIDENT ouvre ensuite la discussion sur l'extension des activités du Bureau International aux étalons de radioactivité.

Mr VOLET indique que cette importante question est à l'origine du projet de modification de la Convention du Mètre. La

Commission Internationale des Unités de Mesures Radiologiques (I. C. R. U.) a procédé à une consultation fort intéressante à ce sujet lors de sa réunion à Genève le 15 septembre 1958, à laquelle Mr VOLET assistait comme délégué du Comité International. L'ensemble des Organismes internationaux représentés a paru favorable à la proposition de confier au Bureau International l'organisation des comparaisons internationales d'étalons radioactifs. Les représentants de l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique, dont le siège est à Vienne, ont toutefois présenté des objections, attendu que cette Agence elle-même envisageait la possibilité d'organiser de telles comparaisons.

De son côté, la Commission pour la Révision de la Convention du Mètre a estimé que le Bureau International pourrait accepter cette tâche. Elle s'est rendu compte que les installations nécessaires pourraient être édifiées sur le domaine dont le Bureau International a la libre disposition.

Mr ASTIN pense qu'il conviendrait de constituer un Comité Consultatif dont le premier soin serait de présenter un Rapport sur les dispositions à prendre en vue de permettre au Bureau International d'entreprendre cette nouvelle tâche. En conséquence, Mr ASTIN propose d'adopter une Résolution, pour laquelle il présente le projet suivant

« Le Comité International des Poids et Mesures considère qu'il y a un besoin sans cesse croissant d'améliorer la coordination des étalons pour la mesure des radiations ionisantes. Considérant, d'autre part, que ce besoin pourrait être satisfait par une extension des activités courantes du Bureau International, le Comité International décide la création d'un Comité Consultatif pour l'étude des radiations ionisantes. »

Mr le PRÉSIDENT, après avoir remercié Mr VOLET pour son utile intervention à Genève, demande l'opinion du Comité sur la proposition de Mr ASTIN de créer un Comité Consultatif s'occupant de la mesure des radiations ionisantes. Le Comité approuve cette proposition à l'unanimité (voir p. 86 le texte de la Résolution finalement adoptée).

Mr DE BOER présente ensuite le Rapport de la Commission Administrative.

Rapport de la Commission Administrative.

La Commission Administrative a tenu deux séances, le lundi

29 septembre 1958 au Pavillon de Breteuil, et le mercredi 1^{er} octobre à l'Observatoire de Paris.

Étaient présents : MM. DE BOER (Président), STULLA-GÖTZ (Rapporteur), ESSERMAN, YAMAUTI, Membres de la Commission. Assistaient à la première séance : MM. ASTIN, BARRELL, CASSINIS, VOLET, JEANNIN et WAIT; à la deuxième séance : MM. ASTIN, CASSINIS, DANJON, HOWLETT, OTERO, VOLET et WAIT.

La Commission prend connaissance des livres comptables et des pièces justificatives pour les exercices 1956 et 1957. La comptabilité fait une impression soignée et régulière. Le contrôle effectué par quelques sondages montre que les écritures sont exactes. La Commission félicite le Directeur et particulièrement Mr Jeannin pour la conduite de cette comptabilité. Étant donné que le peu de temps dont elle dispose ne permet pas un examen approfondi de la comptabilité, et considérant la responsabilité qu'elle assume vis-à-vis des États-membres, la Commission décide de proposer au Comité qu'à partir de 1958 la comptabilité soit examinée chaque année par un expert-comptable agréé. Une proposition analogue est présentée par la Commission pour la Révision de la Convention du Mètre.

La Commission s'est également occupée de manière approfondie de l'état du personnel du Bureau et du budget prévu pour la prochaine période financière. Sur proposition du Directeur, le Sous-Directeur du Bureau, Mr Terrien, recevra une augmentation de son traitement de 1000 francs-or, en raison de son éminente activité scientifique.

La Commission a approuvé les mesures prises par le bureau du Comité afin de parer au mieux aux accroissements continus du prix de la vie.

Considérant l'importance des tâches du Bureau, la Commission est d'avis qu'il faut apporter une attention toute particulière au recrutement d'un personnel d'éducation universitaire. A ce propos, elle a reconsidéré le Statut du personnel du Bureau International (*Procès-Verbaux*, 24, 1954, p. 92) et estimé qu'il n'y avait pas lieu, pour le moment, de le modifier. Cependant, il serait nécessaire d'avoir la possibilité de nommer un plus grand nombre d'adjoints au Bureau. Il semble bien difficile de trouver des scientifiques qualifiés pour occuper cette fonction. Une note traitant de ce sujet devrait être envoyée aux Gouvernements des États-Membres et aux différents Laboratoires intéressés.

La Commission a considéré aussi d'un point de vue général le rapport entre les dépenses « Laboratoire et Atelier » et les dépenses « Personnel »; elle a l'impression que ce rapport (1 : 5) ne correspond pas à la situation dans d'autres laboratoires de

même caractère. Il serait souhaitable d'augmenter la proportion relative des dépenses « Laboratoire et Atelier » au budget total.

Tenant compte de ces remarques, il serait nécessaire de considérer d'une manière approfondie un accroissement très substantiel du budget total. Dans ce but, la Commission propose d'établir un projet détaillé pour le développement futur désirable des bâtiments, de l'ensemble des instruments de laboratoire et du personnel du Bureau, pour une durée de six ans par exemple.

Afin d'éviter des difficultés concernant l'application de l'article 5 du Règlement de la Caisse de Retraites (*Procès-Verbaux*, 26, 1956, p. 64), la Commission propose de substituer, dès maintenant, « l'âge de 40 ans » à « l'âge de 50 ans ».

Le Rapporteur,
J. STULLA-GÖTZ

Le Président,
J. DE BOER

Ce Rapport est approuvé par le Comité. Mr le PRÉSIDENT remercie Mr Terrien de son importante activité scientifique, et tient à le féliciter pour la distinction que le Gouvernement Français vient de lui accorder dans l'Ordre de la Légion d'Honneur; le Comité s'associe unanimement à ces félicitations.

Mr VIEWEG estime qu'il conviendrait d'augmenter les taxes de vérification perçues par le Bureau International et Mr ASTIN propose même de les doubler. Mr CASSINIS remarque que l'article 15 du Règlement le permet, mais que ceci nécessite une étude qui sera faite par le Directeur du Bureau. Mr DE BOER propose d'augmenter le budget si l'on veut engager des adjoints. Mr CASSINIS indique que le budget pourra être modifié lorsque ces nouveaux collaborateurs auront été trouvés. Mr VIEWEG demande s'il serait utile d'avoir des collaborateurs temporaires; Mr VOLET ne pense pas que cela puisse dispenser d'engager du personnel stable. Mr DE BOER remarque qu'au début des études sur la radioactivité, des collaborateurs temporaires pourraient être très utiles.

Mr VOLET désire ajouter quelques commentaires sur la mise en vigueur, le 1^{er} janvier 1957, du nouveau Règlement de la Caisse de Retraites adopté à la session de 1956. Ce Règlement est, dans quelques dispositions, moins libéral que ceux qui l'ont précédé. Pour cette raison, on a jugé équitable de laisser aux retraités la faculté de choisir le régime qui leur est le plus favorable. Naturellement, il n'a pas été admis que l'on puisse cumuler les avantages de l'un et de l'autre régime. La même règle pourrait

être appliquée à l'avenir, lorsqu'un fonctionnaire ayant cotisé sous différents régimes prendra sa retraite. Le Comité approuve cette manière de voir.

Mr le PRÉSIDENT remercie la Commission Administrative et présente la requête formulée par Mr Pérard, tendant à faire porter sa retraite de 13 200 francs-or à 14 520 francs-or. Deux solutions sont possibles : 1° on admet que cette affaire a été définitivement tranchée par le vote par correspondance qui a déjà eu lieu à son sujet le 3 juin 1957; 2° on demande que ladite requête fasse l'objet d'une nouvelle discussion. Par un vote à bulletins secrets le Comité se prononce en faveur de la première solution, par 11 voix contre 1 et 1 bulletin blanc.

Mr le PRÉSIDENT engage la discussion sur la question de la contribution d'entrée des nouveaux États-membres, contribution justifiée par la copropriété des biens du Comité International.

Mr VOLET rappelle que cette contribution était autrefois de six annuités. Depuis 1946 elle est de trois annuités, et la Commission pour la Révision de la Convention du Mètre propose maintenant de la réduire à une seule annuité, afin de faciliter l'adhésion de nouveaux États-membres.

Mr OTERO remarque que les Pays ayant adhéré récemment (l'Inde par exemple) ont payé sur la base de trois annuités et qu'il conviendrait de ne pas diminuer cette contribution si brusquement; il propose que la contribution d'entrée soit fixée à deux annuités et qu'elle puisse être réduite plus tard à une seule annuité, lorsque la dotation annuelle sera augmentée.

Mr BOURDOUN constate que les autres organismes internationaux réunissent un plus grand nombre d'États que la Convention du Mètre. Il espère que la diminution envisagée permettra l'adhésion d'autres États.

La proposition de Mr OTERO est approuvée.

Mr OTERO lit ensuite le Rapport de la Commission des Travaux.

Rapport de la Commission des Travaux.

La Commission des Travaux a tenu deux séances, le 30 septembre et le 1^{er} octobre 1958, à l'Observatoire de Paris.

Étaient présents : MM. OTERO (Président), BARRELL (Rapporteur), ASTIN, BOURDOUN, HOWLETT, SIEGBAHN, Membres de la Commission. Assistaient aux séances : MM. CASSINIS, DANJON, DE BOER, ESSERMAN, STULLA-GÖTZ, VIEWEG, VOLET, YAMAUTI, ainsi que Mr TERRIEN et le personnel scientifique du Bureau International.

Mètres prototypes. — De nombreuses déterminations de Mètres prototypes ont été effectuées pendant les deux dernières années, à l'aide du comparateur normal installé en 1954. Ces déterminations ont abouti à la conclusion que, pour les prototypes à traits de haute qualité, tels qu'on peut les obtenir actuellement par les méthodes de tracé modernes, l'incertitude moyenne dans l'évaluation de la différence de longueur entre deux prototypes ne dépassé guère $0,1 \mu\text{m}$. Une telle précision n'a pas toujours pu être obtenue avec certitude. Néanmoins, on estime que l'étalon de longueur a été maintenu depuis 1889, lorsque le système des Mètres prototypes en platine iridié a été établi, avec une précision d'ensemble de $0,2 \mu\text{m}$, soit $2 \cdot 10^{-7}$ en valeur relative. Cette conclusion vient à l'appui de l'opinion selon laquelle une définition plus précise du mètre est maintenant essentielle si l'on veut faire de nouveaux progrès en métrologie des longueurs.

Fils et rubans géodésiques. — Depuis le 1^{er} septembre 1956, 423 étalons géodésiques de différentes longueurs (4, 6, 8, 20 et 24 m), en provenance de divers pays, mais surtout de la Chine, ont été étudiés. C'est le nombre le plus important de vérifications qui aient jamais été effectuées au Bureau pendant une période de deux ans.

Prototypes du kilogramme. — L'importance du nettoyage à la vapeur d'eau, en tant qu'opération préliminaire à la comparaison précise des Kilogrammes prototypes, a été particulièrement mise en évidence par les résultats obtenus avec le prototype N° 26 appartenant à l'U. R. S. S., qui n'avait pas été vérifié à Sèvres depuis 1889. On a observé une diminution de $0,058 \text{ mg}$ de la masse de ce Kilogramme après nettoyage à la vapeur et sa valeur en 1957 ne diffère que de $+ 0,016 \text{ mg}$ de celle déterminée en 1889.

Thermométrie. — En vue d'améliorer la stabilité et la précision des thermomètres à mercure, les études sont poursuivies sur la fabrication de thermomètres à réservoir et tige en quartz fondu.

Électricité. — Les comparaisons périodiques des étalons nationaux de résistance et de force électromotrice ont été effectuées. On a signalé les progrès obtenus dans la préparation et l'étude des étalons de 1Ω en métaux purs (mercure et platine).

Photométrie. — Les calculs définitifs de la troisième comparaison des étalons nationaux d'intensité et de flux lumineux ont été terminés et les résultats ont été communiqués au Comité Consultatif de Photométrie à sa session de septembre 1957. On pense qu'une précision de 0,5 % est obtenue actuellement dans la réalisation et la conservation des étalons photométriques nationaux.

Détermination absolue de g . — La détermination de l'accélération due à la pesanteur à l'aide d'une échelle divisée tombant librement dans le vide a été achevée avec succès. La valeur de g déduite d'une série finale de 20 expériences confirme la conclusion qui est maintenant généralement acceptée, d'après laquelle la valeur fondamentale de référence de g dans le système de Potsdam est trop élevée; la différence, déduite des déterminations du Bureau International, est de 12,8 mgal, avec une incertitude estimée de ± 1 mgal sur la valeur moyenne.

Interférométrie. — De nouvelles recherches interférométriques concernant les profils spectraux des meilleures radiations du krypton 86 et du mercure 198 ont été effectuées. Pour ces recherches, et aussi pour la mesure des longueurs d'onde de ces radiations par rapport à la raie rouge du cadmium, l'interféromètre de Michelson a été trouvé plus précis que celui de Perot-Fabry, surtout après l'introduction de certaines améliorations instrumentales, y compris un système photoélectrique pour indiquer et enregistrer les intensités des franges d'interférences. Les résultats obtenus, qui sont d'un très grand intérêt à la fois théorique et pratique, ont été communiqués au Comité Consultatif pour la Définition du Mètre à sa session de 1957. Ce travail fournit un appui expérimental en faveur du choix de la raie orangée du krypton 86 comme étant la meilleure connue actuellement pour servir de base à une nouvelle définition du mètre.

Parmi les travaux actuellement en cours, on a signalé l'étude d'un manobaromètre interférentiel, la construction et la vérification des éléments optiques d'un interféromètre qui sera associé au comparateur photoélectrique (voir ci-dessous) et quelques expériences préliminaires prometteuses avec un réfractomètre interférentiel de petites dimensions pour la mesure précise de l'indice de réfraction de l'air.

Comparateur photoélectrique. — Le comparateur photoélectrique commandé maintenant à la Société Genevoise d'Instruments de Physique doit être muni d'un interféromètre construit au Bureau. Cet interféromètre, du type Michelson, sera utilisé pour les déterminations directes en longueurs d'onde des étalons à traits, des échelles de précision et des étalons à bouts. On prévoit la construction d'une fondation stable et dépourvue de vibrations,

ainsi que d'une enceinte thermiquement isolée, à pression et température constantes, destinée à assurer la stabilité et l'uniformité des conditions atmosphériques pendant les mesures interférométriques des étalons de longueur qui doivent être effectuées dans l'air.

Conclusion. — Il est essentiel que plusieurs physiciens hautement qualifiés puissent être recrutés par le Bureau International. On devrait envisager immédiatement les voies et moyens pour réaliser ce vœu, sinon le progrès dans les nombreuses et importantes recherches en cours ou envisagées serait très ralenti.

Le Rapporteur,
H. BARRELL

Le Président,
J. OTERO

Les Rapports des Comités Consultatifs et de la Commission des Travaux, ainsi que leurs conclusions, sont approuvés par le Comité International.

La séance est levée à 12^h10^m.

PROCÈS-VERBAL

DE LA CINQUIÈME SÉANCE

TENUE AU BUREAU INTERNATIONAL

Vendredi 3 octobre 1958

PRÉSIDENCE DE Mr A. DANJON

La séance est ouverte à 15^h.

Sont présents : MM. DANJON, ASTIN, BARRELL, DE BOER, BOURDOUN, CASSINIS, ESSERMAN, HOWLETT, OTERO, STULLA-GÖTZ, VIEWEG, YAMAUTI et VOLET.

Assistent à la séance : MM. PÉRARD, TERRIEN, ALIANAKI, WAIT et BONHOURE, Adjoint du Bureau International.

Mr le PRÉSIDENT invite les Membres du Comité à visiter le caveau des prototypes, sur les améliorations duquel Mr VOLET donne quelques détails. Après la visite, Mr le PRÉSIDENT exprime sa satisfaction de l'heureux résultat des travaux effectués dans le dépôt des prototypes et dans ses accès. Il donne ensuite lecture du procès-verbal suivant

*Procès-Verbal
de la visite du Dépôt des Prototypes.*

Le 3 octobre 1958, à 15^h15^m, en présence des Membres du Comité International des Poids et Mesures assistant à la séance de ce jour et du personnel scientifique du Bureau, il a été procédé à la visite du Dépôt des Prototypes métriques internationaux du Pavillon de Breteuil.

On a constaté la présence dans le coffre-fort : d'une part, du Mètre international, du témoin T1 et du Mètre à bouts N° 5 en platine iridié; d'autre part, du Kilogramme international et de ses six témoins, K1, N°s 7, 8 (41), 32, 43 et 47.

Les prototypes internationaux avaient dû être extraits antérieurement du caveau inférieur pour permettre d'installer le déshumidificateur commun aux deux caveaux, supérieur et inférieur, et pour exécuter quelques travaux d'entretien.

Le Kilogramme international avait été renfermé dans le coffre-fort le 12 juin 1957, et les six témoins le 24 septembre 1958, avec toutes les précautions d'usage.

On a placé dans le coffre un thermomètre à mercure, ainsi qu'un thermomètre à maxima et à minima.

On a ensuite refermé le coffre-fort et les portes du caveau. Les clefs des trois serrures des portes seront remises, la première au Directeur des Archives de France, la seconde au Président du Comité International des Poids et Mesures; la troisième restera à la disposition du Directeur du Bureau International.

Le Directeur du Bureau,
Ch. VOLET

Le Président du Comité,
A. DANJON

**Création d'un Comité Consultatif
pour les Étalons de Mesure des Radiations Ionisantes.**

Mr le PRÉSIDENT reprend la question de la création d'un comité consultatif pour les radiations ionisantes, pour lequel Mr VIEWEG propose la dénomination suivante : « Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Radiations Ionisantes ». Cette dénomination est approuvée et Mr le PRÉSIDENT lit la Résolution ci-après, qui est adoptée à l'unanimité et consacre la création de ce nouveau comité consultatif.

RÉSOLUTION.

Le Comité International des Poids et Mesures,
informé du besoin ressenti avec une acuité croissante par les Laboratoires nationaux et diverses autres organisations scientifiques d'améliorer la situation internationale concernant la coordination des étalons pour la mesure des radiations ionisantes,

reconnaissant que ce besoin pourrait être satisfait par une extension des activités du Bureau International,

décide de créer un Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Radiations Ionisantes ayant pour mission immédiate d'établir un programme de travail pour le Bureau International et un plan d'équipement en matériel et en personnel avec l'évaluation des crédits d'installation et de fonctionnement nécessaires, et invite ce Comité Consultatif à présenter son rapport au Comité International avant le 1^{er} juillet 1959.

Mr VOLET rappelle que les Comités Consultatifs auprès du Comité International des Poids et Mesures ont un Règlement général (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 23-A, 1952, p. 108) qui

fixe en particulier que chacun d'eux est formé : 1^o d'un Président désigné par le Comité International; 2^o d'un délégué de chacun des grands Laboratoires de métrologie et des Instituts spécialisés; 3^o de Membres nominativement désignés.

Mr VIEWEG propose que Mr ASTIN soit le Président de ce nouveau Comité Consultatif, ce qui est approuvé. Quant aux Instituts et aux Membres qui en feront partie, une liste sera proposée à la suite de consultations par correspondance.

Budget.

Mr VOLET présente un projet de budget qui, après quelques modifications demandées par les Membres du Comité, est adopté sous la forme suivante

BUDGET POUR 1959 ET 1960

Recettes.

	Francs-or
Contributions des États.....	400 000
Intérêts des Titres et des Fonds.....	2 000
Taxes de vérification.....	6 000
Total.....	<u>408 000</u>

Dépenses.

A. Personnel :	
Traitements, indemnités, charges de famille.....	265 000
B. Indemnité du Secrétaire.....	3 000
C. Frais généraux d'administration :	
Bâtiments.....	35 000
Mobilier.....	2 500
Laboratoire et Atelier.....	44 000
Chauffage, éclairage, force motrice.....	18 000
Primes d'assurances.....	1 500
Bibliothèque.....	3 000
Impressions et publications.....	7 000
Frais de bureau.....	7 000
Voyages.....	4 000
Frais divers et imprévus.....	3 000
Versement à la Caisse de Retraites.....	15 000
Total.....	<u>408 000</u>

Mr ASTIN s'étonne de ne pas voir inscrite au budget la somme prévue pour l'achat du comparateur photoélectrique. Mr VOLET explique que cette somme provient en grande partie de la contribution d'entrée de l'Inde, qui ne figure pas au budget ordinaire. Mr ASTIN préférerait qu'il n'y ait qu'un seul budget.

Mr VIEWEG propose que le budget se compose à l'avenir du budget ordinaire et du budget extraordinaire. Mr VOLET consultera l'expert-comptable auquel le Comité vient de décider d'avoir recours.

Système International d'Unités.

Mr VOLET mentionne que l'appellation « Système International d'Unités » choisie par le Comité International en 1956 a été adoptée à l'unanimité par la Commission Électrotechnique Internationale en juillet 1958. Il convient maintenant de décider par quelle abréviation ce Système sera désigné.

Mr de BOER se prononce pour le rejet de l'abréviation SIU, qui pourrait être interprétée dans les pays de langue anglaise par « system of international units » ce qu'il faut éviter. Il demande que l'I. S. O. soit consultée à ce sujet, mais Mr le PRÉSIDENT fait quelques objections à cette procédure.

MM. VIEWEG, CASSINIS et STULLA-GÖTZ proposent que les unités du Système International soient désignées par le symbole SI. Mr STULLA-GÖTZ insiste en outre pour que l'abréviation SI soit utilisée dans toutes les langues; on devrait donc dire par exemple « Unités-SI », « SI-Einheiten », « SI-Units ». L'abréviation SI est adoptée à l'unanimité moins une abstention (Mr ASTIN).

Mr DE BOER revient sur la Résolution 3 prise en 1956 au sujet du Système International d'Unités (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 25, 1956, p. 83). Il fait remarquer que les six « unités de base » ont bien été adoptées en 1954 par la Conférence Générale, mais que le tableau des « unités supplémentaires » ne peut être considéré que comme une proposition qui doit être soumise à l'approbation de la Conférence. Il regrette que dans ce tableau certaines divergences apparaissent avec des décisions prises antérieurement par l'I. S. O. (vitesse angulaire, par exemple). En outre, le choix du symbole T pour le tesla, unité d'induction magnétique, n'est pas heureux; ce symbole est déjà utilisé pour le

préfixe 10^{12} et la combinaison du symbole du tesla avec celui d'une autre unité donnerait lieu à des confusions. Mr DE BOER préférerait pour le tesla le symbole Ta ou Te, par analogie avec Wb (weber), Mx (maxwell) et Gi (gilbert). A l'une de ces objections, Mr VOLET fait remarquer qu'on écrit mm pour millimètre, sans qu'il résulte de confusion par suite de la signification différente des deux m; Mr DE BOER considère que ce double usage du symbole m est déjà très regrettable.

MM. BOURDOUN et CASSINIS demandent que ces questions soient renvoyées à la Commission du Système d'Unités.

En ce qui concerne la formation des multiples et sous-multiples des unités, le Comité complète la liste des préfixes déjà adoptés en y adjoignant les préfixes *téra* et *giga*, *nano* et *pico*. Le tableau suivant, conforme à la proposition présentée en 1956 par Mr BOURDOUN (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 25, p. 119), est approuvé par le Comité

*Préfixes pour la formation des multiples
et sous-multiples des unités.*

Facteur par lequel l'unité est multipliée	Préfixe	Symbole
1 000 000 000 000 = 10^{12}	téra	T
1 000 000 000 = 10^9	giga	G
1 000 000 = 10^6	méga	M
1 000 = 10^3	kilo	k
100 = 10^2	hecto	h
10 = 10^1	déca	da
0,1 = 10^{-1}	déci	d
0,01 = 10^{-2}	centi	c
0,001 = 10^{-3}	milli	m
0,000 001 = 10^{-6}	micro	μ
0,000 000 001 = 10^{-9}	nano	n
0,000 000 000 001 = 10^{-12}	pico	p

Comités Consultatifs.

Mr le PRÉSIDENT rappelle qu'il y a lieu de réviser la composition des Comités Consultatifs, dont les Membres nominativement désignés sont presque tous parvenus à la fin de leur mandat de six ans.

Au Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (Président

Mr HOWLETT), Mr VOLET fait remarquer que plusieurs spécialistes ayant été élus Membres du Comité International, peuvent désormais siéger de droit. Le Comité International estime cependant qu'ils doivent continuer à figurer dans la liste des spécialistes nominativement désignés, qui comprend donc MM. Cabannes, Edlén, Stulla-Götz et Väisälä.

Au *Comité Consultatif d'Électricité* (Président Mr VIEWEG), on ajoute, aux Laboratoires déjà représentés, l'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris de Turin et le National Standards Laboratory de Chippendale (Australie). Les spécialistes confirmés par le Comité International sont MM. Budeanu, König, Yovanovitch.

Au *Comité Consultatif de Photométrie* (Président Mr OTERO), la démission de Mr Pirani laisse comme spécialistes MM. Perucca, Zwikker, Wright et Plaza, ces deux derniers membres, nommés en 1956, répondant à la nécessité, soulignée par M. OTERO, de s'assurer la collaboration de colorimétristes; Mr O. Reeb, Professeur au Lichttechnisches Institut der Technischen Hochschule de Karlsruhe, est nommé en remplacement de M. Pirani.

Au *Comité Consultatif de Thermométrie* (Président Mr DE BOER), la nomination comme spécialiste de Mr Brickwedde, qui est maintenant au Pennsylvania State College et ne peut plus être délégué par le National Bureau of Standards, est acceptée. MM. Bozza et Timmermans restent membres de ce Comité.

Au *Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde* (Président Mr DANJON), sont nommés membres : l'Observatoire de Neuchâtel (Suisse), MM. Pierce (Université de Harvard), Randić (Université de Zagreb) et Zagar (Observatoire de Milan). Les membres spécialistes, MM. Fuchs et Spencer Jones, sont maintenus.

Mr le PRÉSIDENT procède à une consultation à propos des dates des futures réunions des Comités Consultatifs. Les Comités Consultatifs d'Électricité et de Photométrie ne se réuniront pas avant 1961, celui de Thermométrie éventuellement en 1959, celui de la Seconde après 1960.

Questions diverses.

Mr CASSINIS propose que l'on reproduise, au début de chaque

volume des Procès-Verbaux du Comité International, la liste des Membres des Comités Consultatifs.

Au sujet de la prochaine session de la Conférence Générale des Poids et Mesures, la date du mardi 11 octobre 1960 est retenue. Le Comité International se réunira le mardi 4 octobre 1960.

En ce qui concerne le local où la Conférence Générale tiendra ses réunions, Mr VOLET fait remarquer que, vu le nombre toujours croissant des délégués, la grande salle du Pavillon de Breteuil est maintenant trop petite pour permettre un travail agréable, d'autant plus qu'il paraît indispensable que l'on puisse disposer à l'avenir d'une installation de traduction simultanée. Le Comité partage ce point de vue et charge Mr VOLET de chercher à Paris un lieu de réunion convenable.

Mr VIEWEG demande que les réunions du Comité International puissent avoir lieu dans des Pays où il y a de grands Laboratoires nationaux. Cette question ne se pose pas pour 1960; elle fera l'objet d'une étude.

Mr VOLET propose qu'on fasse mieux connaître les travaux du Comité International, par exemple par des comptes rendus dans les revues scientifiques. L'action personnelle des Membres du Comité pourrait être efficace dans ce but.

Mr le Président remercie ses collègues dont le travail a été très efficace, et déclare close la session du Comité International.

La séance est levée à 17^h20^m.



ANNEXE 1

DEUXIÈME RAPPORT DE LA COMMISSION POUR LA RÉVISION DE LA CONVENTION DU MÈTRE

Par Ch. VOLET, Rapporteur

La Commission a tenu quatre séances au Bureau International des Poids et Mesures, les 28 et 29 avril 1958, sous la présidence de Mr ASTIN.

Étaient présents : MM. ASTIN, DE BOER, BOURDOUN, CASSINIS, DANJON, VIEWEG, VOLET, Membres de la Commission. Mr NUSSBERGER, empêché, s'était excusé. Agissaient comme interprètes, MM. ALIANAKI et BOWER, et comme secrétaire, Mr TERRIEN.

La Commission a fait une étude détaillée des articles de la Convention du Mètre et de son Règlement annexé. Elle a considéré avec une particulière attention les points qui avaient précédemment donné lieu à des discussions au sein du Comité International et de la Conférence Générale.

EXTENSION DES ACTIVITÉS DU BUREAU INTERNATIONAL.

Dès 1948, la Délégation de l'U. R. S. S. avait proposé que le Comité International examine la possibilité de charger le Bureau International d'effectuer des mesures sur les étalons du domaine de la radioactivité (*Comptes Rendus Neuvième Conférence Générale des Poids et Mesures*, 1948, p. 83). Il n'a pas paru, à ce moment-là, que la question exigeât une solution urgente; mais il n'en est plus de même aujourd'hui.

La Commission a pris connaissance de certaines informations, d'où il résulte qu'il est actuellement nécessaire de créer un centre international pour la conservation et la comparaison des étalons des radiations atomiques et nucléaires. Diverses Organisations internationales sont intéressées par cette question et certaines d'entre elles semblent être éventuellement disposées à assumer

ce rôle. La Commission a estimé que la solution la plus logique, la plus simple et la moins coûteuse, était de donner au Bureau International les moyens d'entreprendre cette nouvelle tâche. La Commission s'est rendu compte que les installations nécessaires pourraient très probablement être édifiées sur le domaine même dont le Bureau International a la libre disposition. La Commission a donc conclu qu'il était souhaitable qu'une entente intervienne entre tous les intéressés, afin que le Bureau International soit chargé de s'occuper des unités et étalons des radiations atomiques et nucléaires. Dans ce but, la Commission estime qu'il serait utile que le Comité International soit représenté à Genève lors de la réunion que doit tenir, le 15 septembre 1958, l'« International Commission on Radiological Units and Measurements ».

En conclusion, la Commission recommande que l'article 7 de la Convention du Mètre soit modifié, afin de donner à la Conférence Générale des Poids et Mesures le pouvoir de confier au Comité International des tâches dans un domaine plus large qu'il n'est actuellement possible; un projet de rédaction de cet article est donné à l'Appendice I (p. 96).

Mr CASSINIS exprime l'avis que le texte de la Convention du Mètre est maintenant presque entièrement périmé et qu'il conviendrait de le remplacer par un texte nouveau, plutôt que de réviser la Convention actuelle article par article. La Commission a demandé à Mr Cassinis d'établir un tel projet, qui est donné à l'Appendice III (p. 98).

DOTATION.

La Commission estime que la dotation annuelle du Bureau International devrait être fixée lors de chaque session de la Conférence Générale pour la période allant jusqu'à la session suivante. Cette dotation devrait être portée à 600 000 francs-or par an, sans préjudice d'une augmentation plus importante si les tâches du Bureau International devaient être étendues.

RÉPARTITION DE LA DOTATION.

Le mode actuel de répartition de la dotation a été critiqué par la Délégation japonaise à la Conférence Générale de 1954. Le défaut de cette répartition serait de n'être basée que sur le montant de la population, sans tenir compte de la richesse relative des différents États-membres.

La Commission a reconnu le bien-fondé de cette critique; c'est pourquoi elle a écarté plusieurs propositions fondées sur la

seule considération de la population. Elle a aussi écarté un mode de calcul qui serait basé sur le « revenu national » tel qu'il est considéré par l'Organisation des Nations Unies (O. N. U.). Ce « revenu national » est une notion complexe, dont l'établissement nécessite une documentation qui serait d'autant plus difficile à réunir que certains de nos États-membres ne font pas partie de l'O. N. U. D'autre part, ce système conduirait à un « éventail » des contributions considérablement plus ouvert que celui qui est en usage dans notre Organisation et qui est déjà nettement plus ouvert (de 1 à 30) que celui qui est adopté par les Organisations scientifiques internationales (généralement de 1 à 8).

La Commission recommande que soit considéré un mode de répartition qui attribue à chaque État-membre un certain nombre de parts, allant de 2 à 30. Ces parts seraient fixées d'après la population, mais le système serait assoupli grâce à la possibilité qui serait réservée à chaque État de demander une diminution du nombre normal des parts qui lui est attribué. Cette diminution, accordée par la Conférence Générale, ne pourrait pas excéder 50 pour cent. Le barème finalement recommandé par la Commission est reproduit à l'Appendice II (p. 98).

La Commission souhaite unanimement que disparaisse la distinction faite depuis 1913 (voir *Comptes Rendus Cinquième Conférence Générale*, p. 25) entre une partie *fixe* de la dotation et une partie *complémentaire*. Cette dernière ne devrait éventuellement exister que dans l'intervalle de deux Conférences Générales, après quoi elle devrait être incorporée à la dotation principale.

CONTRIBUTION D'ENTRÉE.

Cette contribution est déterminée par le Comité International (Convention du Mètre, article 11); elle est actuellement de trois annuités (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 20, 1946, p. 114). La Commission propose de ramener cette contribution à une seule annuité, afin de faciliter l'adhésion de nouveaux États-membres.

DÉCISIONS DE LA CONFÉRENCE GÉNÉRALE.

Les votes au sein du Comité International ont lieu à la majorité des voix (Règlement, article 12). La Convention ne fait pas allusion aux votes au sein de la Conférence Générale; elle contient seulement, en deux endroits (Convention, article 12, et Règlement, article 6), des dispositions qui, dans certaines circonstances, instituent un véritable droit de veto.

La Commission propose qu'un article de la Convention stipule que, dans tous les cas, les décisions de la Conférence Générale

sont valables lorsqu'elles sont approuvées par au moins 75 pour cent des voix.

QUESTIONS DIVERSES.

La Commission propose que la désignation « bureau du Comité International » soit remplacée par « présidence du Comité International ».

Elle propose aussi que la comptabilité du Bureau International soit soumise à un expert-comptable qui en garantisse la bonne forme et l'exactitude. En effet, le Comité International ne peut plus consacrer assez de temps à contrôler lui-même cette comptabilité, qui devient de plus en plus importante et compliquée par le fait des différentes monnaies utilisées.

La Commission a reconnu qu'il serait extrêmement difficile pour notre Organisation de publier ses travaux et rapports en plusieurs langues. Elle a cependant envisagé la possibilité de publier des traductions officielles des Résolutions de la Conférence Générale.

APPENDICE I.

Projet de modification de la Convention du Mètre, établi par la Commission.

ART. 1. à 6, sans changement.

ART. 7, à remplacer par : « En outre, conformément aux directives de la Conférence Générale, le Comité International charge le Bureau

- 1° d'établir les étalons fondamentaux des grandeurs physiques;
- 2° d'assurer la comparaison des étalons nationaux et internationaux;
- 3° d'assurer la coordination, sur le plan international, des techniques de mesure correspondantes;
- 4° d'effectuer et de coordonner les déterminations relatives aux constantes physiques fondamentales. »

ART. 8 à 14, sans changement.

ART. 15 (nouveau). « Le Règlement annexé, mentionné à l'article 2, peut être modifié par une simple décision de la Conférence Générale, pourvu que chaque État-membre ait été avisé par le Comité International, au moins une année avant la réunion de la Conférence Générale, de la nature du changement proposé. L'absence de réponse sera considérée comme une acceptation. »

Règlement annexé.

ART. 1 à 5, sans changement.

ART. 6, à remplacer par :

« Chaque Conférence Générale fixe la dotation destinée à couvrir toutes les dépenses du Bureau International et du Comité International pour la

période qui commence au moins un an après la réunion de la Conférence Générale.

« La dotation annuelle est répartie entre les États-membres en tenant compte de leur population, comme il est exposé ci-après. En outre, des réductions, inférieures à 50 pour cent, de la contribution de certains États-membres, peuvent être accordées, sur demande motivée, si la Conférence Générale le juge opportun.

« A chaque État est attribué un nombre de parts contributives déterminé par le tableau suivant (voir Appendice II). Le rapport de la contribution de chaque État à la dotation totale est égal au rapport du nombre de parts contributives de cet État à la somme des nombres de parts contributives de tous les États-membres.

« Les contributions annuelles sont dues au commencement de chaque année. Si un État reste sans payer sa contribution annuelle pendant l'année où elle est due, le montant de cette contribution pourra être réparti par le Comité International entre les autres États pour l'année suivante.

« Si la Conférence Générale est empêchée de se réunir à la date régulièrement prévue, les contributions précédentes restent en vigueur jusqu'à au moins une année après une nouvelle session de la Conférence Générale.

« Si de nouveaux États adhèrent à la Convention dans l'intervalle de deux sessions de la Conférence Générale, leur contribution pour chaque année ou fraction d'année est égale à celle qui serait payée par un État de même catégorie anciennement entré dans la Convention. Le montant de ces nouvelles contributions est ajouté à la dotation totale. »

ART. 7, au 3^e alinéa, ajouter après la 2^e ligne : « La majorité requise pour qu'une Résolution proposée soit acceptée est 75 pour cent des voix. Tout État qui aura été avisé six mois avant la réunion de la Conférence Générale des Résolutions proposées et qui n'aura pas fait connaître son opinion avant le vote au sein de la Conférence sera tenu pour consentant. »

ART. 8, remplacer les mots « les autres seront désignés par le sort », par : « les autres seront ceux qui auront été les plus anciennement élus en qualité de Membres du Comité International. »

ART. 9, remplacer les deux premiers alinéas par :

« Le Comité International se constitue en choisissant lui-même, au scrutin secret, sa présidence, qui se compose d'un président, d'un vice-président et d'un secrétaire. Ces nominations sont notifiées aux Gouvernements des Hautes Parties contractantes.

« Le président, le vice-président et le secrétaire du Comité, et le directeur du Bureau, doivent appartenir à des pays différents. »

ART. 10 et 11, sans changement.

ART. 12, remplacer les deux dernières lignes par :

« Le directeur du Bureau a voix consultative au sein du Comité ».

ART. 13 et 14, sans changement.

ART. 15, à remplacer par :

« Le Comité International élaborera un règlement détaillé pour l'organisation et les travaux du Bureau, et il fixera les taxes éventuelles à exiger pour ces travaux.

« Ces taxes seront affectées au perfectionnement du matériel scientifique du Bureau. »

ART. 16, 17 et 18, sans changement.

ART. 19, remplacer le début par :

« Le directeur du Bureau adressera au Comité, à chaque session :
« 1° Un Rapport financier, accompagné du rapport d'un expert-comptable, sur les comptes des exercices précédents, dont il lui sera, après vérification, donné décharge. »

Remplacer « Le bureau du Comité » par « La présidence du Comité ».

Ajouter à la fin : « Le Comité décide quelles Résolutions doivent être traduites et publiées en d'autres langues. En cas de contestation, le texte français fait foi. »

ART. 20, 21 et 22, supprimés.

APPENDICE II.

Projet de répartition de la dotation.

N = nombre de parts contributives;
P = population en millions d'habitants.

N	P	N	P	N	P
2	moins de 5	11	14 à moins de 16	21	60 à moins de 70
3	5 à moins de 6	12	16 » » » 18	22	70 » » » 80
4	6 » » » 7	13	18 » » » 20	23	80 » » » 90
5	7 » » » 8	14	20 » » » 25	24	90 » » » 100
6	8 » » » 9	15	25 » » » 30	25	100 » » » 110
7	9 » » » 10	16	30 » » » 35	26	110 » » » 120
8	10 » » » 11	17	35 » » » 40	27	120 » » » 130
9	11 » » » 12	18	40 » » » 45	28	130 » » » 140
10	12 » » » 14	19	45 » » » 50	29	140 » » » 150
		20	50 » » » 60	30	plus de 150.

APPENDICE III.

Projet de refonte de la Convention du Mètre,
établi par G. CASSINIS, Secrétaire du Comité International.

PROPOSITION.

Convention internationale portant modification :

1° De la Convention signée à Paris le 20 mai 1875 pour assurer l'unification internationale et le perfectionnement du Système Métrique (Convention du Mètre);

2° De la Convention signée à Sèvres le 6 octobre 1921, portant modification de la Convention du Mètre susdite.

Conclue entre :

Les soussignés, plénipotentiaires des Gouvernements des Pays ci-dessus énumérés, s'étant réunis en conférence à Paris, après avoir constaté avec satisfaction que l'utilité de l'initiative prise en 1875 a été démontrée par les faits et que les grands avantages obtenus par une collaboration toujours plus étroite entre un nombre de Pays toujours croissant donnent l'assurance d'un progrès continu et utile, sont convenus de ce qui suit :

ART. I. — Les articles de la Convention de 1875-1921 sont remplacés par les dispositions suivantes (articles 1 à 10).

ART. II. — Tout État pourra adhérer à la présente Convention en notifiant son adhésion au Gouvernement français, qui en donnera avis à tous les États participants et au Président du Comité International des Poids et Mesures.

Toute accession nouvelle à la Convention du 20 mai 1875 entraînera obligatoirement adhésion à la présente Convention.

ART. III. — La présente Convention sera ratifiée. Chaque puissance adressera, dans le plus court délai possible, sa ratification au Gouvernement français, par les soins duquel il en sera donné avis aux autres Pays signataires. Les ratifications resteront déposées dans les archives du Gouvernement français. La présente Convention entrera en vigueur, pour chaque Pays signataire, le jour même du dépôt de son acte de ratification.

CONVENTION DU MÈTRE.

ART. 1. — Le *Bureau International des Poids et Mesures*, institué en 1875, est une organisation internationale, scientifique et permanente, dont le siège est à Sèvres (Seine-et-Oise), près de Paris.

ART. 2. — Le Bureau International (B. I. P. M.) fonctionne sous la direction et la surveillance exclusives d'un *Comité International des Poids et Mesures* (C. I. P. M.), placé lui-même sous l'autorité d'une *Conférence Générale des Poids et Mesures* (C. G. P. M.) formée de délégués de tous les Gouvernements contractants.

ART. 3. — La présidence de la C. G. P. M. est attribuée au Président en exercice de l'Académie des Sciences de Paris, qui peut déléguer ses pouvoirs à un autre membre de cette Académie.

ART. 4. — La C. G. P. M. rédigera un Règlement pour son fonctionnement, ainsi que pour le fonctionnement du C. I. P. M. et pour l'organisation du B. I. P. M.

ART. 5. — Conformément aux directives de la Conférence Générale, le Comité International charge le Bureau International :

1° d'établir les étalons fondamentaux des différentes grandeurs physiques;

2° d'assurer la comparaison des étalons nationaux et internationaux de ces grandeurs;

3° d'assurer la coordination sur le plan international des techniques de mesure correspondantes;

4° d'effectuer et de coordonner les déterminations relatives aux constantes physiques fondamentales;

5° d'assurer les comparaisons et étalonnages demandés soit par les Gouvernements, soit par des Sociétés savantes, Institutions de recherches scientifiques, etc. Tous ces travaux seront exécutés sous remboursement des frais.

ART. 6. — Les prototypes et étalons internationaux, ainsi que leurs témoins, demeureront déposés au B. I. P. M.; l'accès du dépôt sera uniquement réservé au Comité International.

ART. 7. — Tous les frais d'établissement et d'installation du B.I.P.M., ainsi que les dépenses annuelles d'entretien et celles du Comité, seront couverts par des contributions des États contractants, basées sur leur population actuelle d'après une échelle établie par la Conférence Générale.

ART. 8. — Les Gouvernements qui useraient de la faculté, réservée à tout État, d'accéder à la présente Convention, seront tenus d'acquitter une contribution d'entrée dont le montant sera déterminé par le Comité sur les bases établies à l'article 7, et qui sera affectée à l'amélioration du matériel scientifique du Bureau.

Le revenu des taxes de vérification sera lui aussi affecté à l'amélioration du matériel scientifique du Bureau.

ART. 9. — Les Hautes Parties contractantes se réservent la faculté d'apporter d'un commun accord à la présente Convention toutes les modifications dont l'expérience démontrerait l'utilité.

ART. 10. — A l'expiration d'un terme de douze années, la présente Convention pourra être dénoncée par l'une ou l'autre des Hautes Parties contractantes.

Le Gouvernement qui userait de la faculté d'en faire cesser les effets en ce qui le concerne sera tenu de notifier son intention une année d'avance, et renoncera, par ce fait, à tous droits de copropriété sur les prototypes internationaux et sur le Bureau International.

ANNEXE 2

Bureau International des Poids et Mesures

RAPPORT SUR LES COMPARAISONS DES ÉTALONS NATIONAUX DE RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE

(septembre-novembre 1957)

Par G. LECLERC

Dès la mi-juillet 1957 tous les étalons nationaux voyageurs qui devaient participer aux comparaisons étaient parvenus à Sèvres; les mesures purent de ce fait être entreprises dès le début de septembre dans les meilleures conditions de stabilité des étalons, ceux-ci ayant été conservés au repos à 20° C pendant plusieurs semaines avant d'être étudiés.

Au total, 24 étalons de résistance participèrent aux comparaisons (tableau I).

Tous ces étalons possèdent des prises de potentiel et sont constitués par un fil de manganine, sauf les étalons du D. A. M. G. Nos 306-3 (en alliage 306), 102-56 et 1 H-4 (en alliage or-chrome); ils sont tous du type hermétiquement fermé, à l'exception du N° 3 961 (L. C. I. E.).

Comme par le passé, les mesures ont été faites au moyen du pont double spécial du B. I. P. M. dont tous les organes ont été soigneusement vérifiés et étudiés avant les comparaisons; l'intensité du courant de mesure était de 0,1 A, le millième de ce courant étant dérivé vers le pont à travers l'une des prises de potentiel de l'étalon étudié.

Deux observateurs, G. Leclerc (Lc) et J. Bonhoure (Jb), ont effectué, indépendamment l'un de l'autre, suivant les schémas des figures 1 et 2, une comparaison complète comprenant un « aller » et un « retour » symétriques dans le temps par rapport à une même date centrale, le 12 octobre 1957.

Chaque schéma fait intervenir 18 étalons principaux (deux par laboratoire) et quatre étalons secondaires.

TABLEAU I

<u>Laboratoire</u>	<u>Étalons N^{os}</u>	<u>Arrivée BIPM</u>	<u>Départ BIPM</u>	<u>Mode de transport</u>
D.A.M.G. (Allemagne zone Est)	{ 306-3 102-56 1H-4	3 juin 1957	27 déc 1957	Aller et retour: train; accompagnés.
P.T.B. (Allemagne zone Ouest)	{ 1106820 1106822	3 juin 1957	29 nov 1957	Aller: automobile; re- tour: avion; accompagnés.
N.B.S. (États-Unis d'Amérique)	{ 72 73	23 mai 1957	20 nov 1957	Aller et retour par avion; accompagnés.
N.R.C. (Canada)	{ 498850 498851 1029331 1029332	4 juin 1957	26 nov 1957	Aller et retour par avion, aux bons soins du pilote.
L.C.I.E. (France)	{ 3961 638719	9 juil 1957	13 déc 1957	Transportés à la main.
E.T.L. (Japon)	{ 34050 34051 34054	12 juin 1957	25 nov 1957	Aller et retour par avion, dans des caisses spéciales; non accompa- gnés.
N.P.L. (Royaume- Uni)	{ 713 714	7 juin 1957	28 nov 1957	Aller et retour par avion; non accompagnés.
I.M. (U.R.S.S.)	{ 11 13	3 juin 1957	26 juin 1958	Aller et retour par avion; accompagnés.
B.I.P.M.	{ 85 86 717 722			

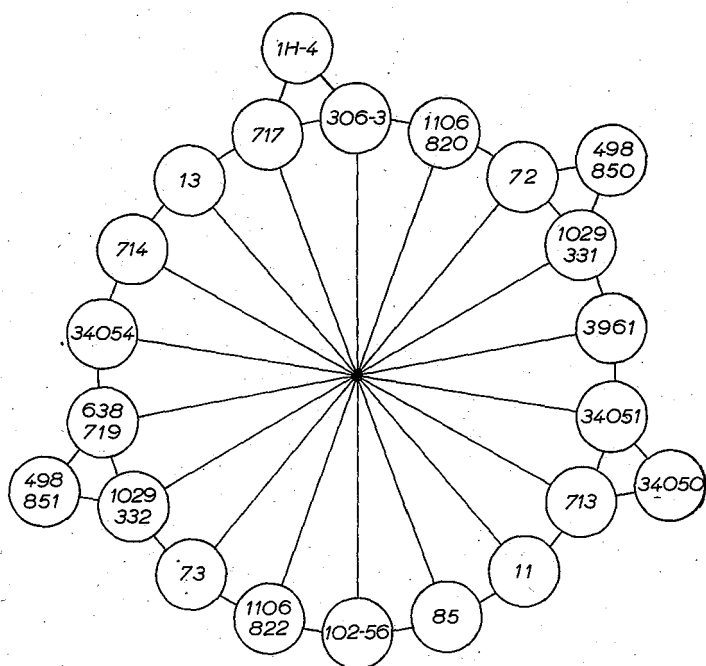


Fig. 1. — Schéma des comparaisons pour l'observateur Lc.

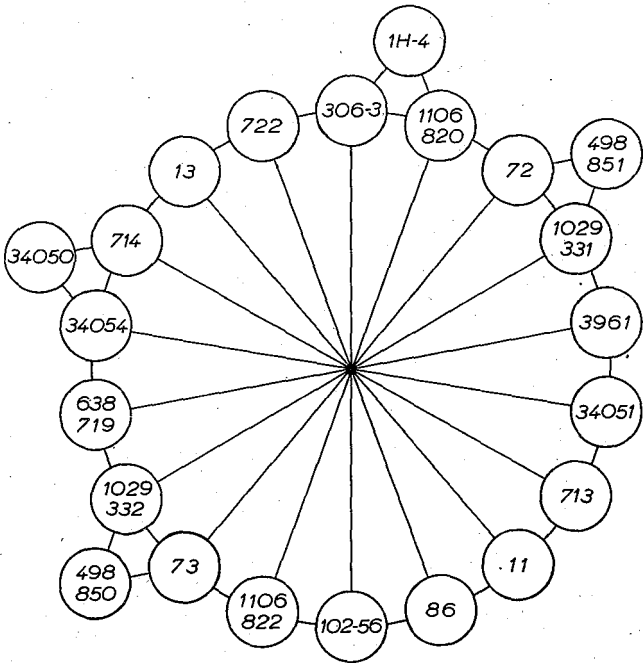


Fig. 2. — Schéma des comparaisons pour l'observateur Jb.

1. RÉDUCTION DES OBSERVATIONS. — A partir des résultats observés on a calculé d'abord, par la méthode des moindres carrés, la valeur à 20° C de chacun des 18 étalons principaux rapportée à leur moyenne. On a ensuite exprimé, par rapport à cette moyenne, la valeur des étalons secondaires après avoir réparti les écarts de fermeture des différents triangles sur les deux séries de rattachement que chacun d'eux comporte.

Finalement, par l'intermédiaire des étalons du Bureau International, on a calculé la moyenne des 18 étalons principaux, puis la valeur de chaque étalon, en fonction de l'unité de résistance conservée à Sèvres.

Dans le but d'obtenir pour Ω_{BIPM} une représentation aussi large que possible, les deux observateurs ont utilisé des étalons du B. I. P. M. différents (Nos 85 et 717 pour Lc et Nos 86 et 722 pour Jb); les calculs de réduction de leurs mesures ont donc été effectués séparément en désignant la moyenne des 18 étalons principaux par A_{18} pour l'observateur Lc et par B_{18} pour l'observateur Jb.

2. VALEURS A 20°C DES ÉTALONS EN FONCTION DES MOYENNES A_{18} ET B_{18}

TABLEAU II

(Les numéros placés entre parenthèses sont ceux des étalons secondaires)

Étalons N ^{os}	Observateur Lc	Observateur Jb
306-3 =	$A_{18} - 97,58 \mu\Omega$	$B_{18} - 71,08 \mu\Omega$
102-56 =	- 150,37	- 123,90
(1H-4) =	- 150,13	- 123,55
1106820 =	- 188,08	- 161,37
1106822 =	- 184,33	- 157,82
(498850) =	- 243,12	- 216,46
(498851) =	- 249,03	- 222,54
1029331 =	- 185,25	- 158,66
1029332 =	- 185,22	- 158,61
72 =	- 154,07	- 127,40
73 =	- 151,29	- 124,73
638719 =	- 261,59	- 235,04
3961 =	+ 423,79	+ 450,23
(34050) =	+ 437,89	+ 464,23
34051 =	+ 181,01	+ 207,37
34054 =	+ 427,15	+ 453,65
713 =	- 117,75	- 91,27
714 =	- 117,84	- 91,24
11 =	+ 289,77	+ 316,28
13 =	+ 276,63	+ 303,06
85 =	- 148,49	--
717 =	+ 343,51	--
86 =	--	- 123,20
722 =	--	- 106,27
En posant N° 85 = 1,000 015 0 Ω_{BIPM}	on a $A_{18} = 1,000 163 49 \Omega_{BIPM}$	
N° 717 = 1,000 506 9 Ω_{BIPM}	$A_{18} = 1,000 163 39 \Omega_{BIPM}$	
	Moy. $A_{18} = 1,000 163 44 \Omega_{BIPM}$	
En posant N° 86 = 1,000 013 9 Ω_{BIPM}	on a $B_{18} = 1,000 137 10 \Omega_{BIPM}$	
N° 722 = 1,000 030 6 Ω_{BIPM}	$B_{18} = 1,000 136 87 \Omega_{BIPM}$	
	Moy. $B_{18} = 1,000 136 98 \Omega_{BIPM}$	

**3. VALEURS A 20°C DES ÉTALONS EN FONCTION DE L'UNITÉ CONSERVÉE
PAR LE BUREAU INTERNATIONAL (C^{BIPM}).**

TABLEAU III

En remplaçant, dans le tableau II, A₁₈ et B₁₈ par leurs valeurs en fonction de C^{BIPM} on obtient

Étalons N ^{os}	Observateur Lc	Observateur Jb	Moyenne	
306-3 =	1,000 065 86	1,000 065 90	1,000 065 88	C ^{BIPM}
102-56 =	1,000 013 07	1,000 013 08	1,000 013 08	
(1H-4) =	1,000 013 31	1,000 013 43	1,000 013 37	
1106820 =	0,999 975 36	0,999 975 61	0,999 975 48	
1106822 =	0,999 979 11	0,999 979 16	0,999 979 14	
(498850) =	0,999 920 32	0,999 920 52	0,999 920 42	
(498851) =	0,999 914 41	0,999 914 44	0,999 914 42	
1029331 =	0,999 978 19	0,999 978 32	0,999 978 26	
1029332 =	0,999 978 22	0,999 978 37	0,999 978 30	
72 =	1,000 009 37	1,000 009 58	1,000 009 48	
73 =	1,000 012 15	1,000 012 25	1,000 012 20	
638719 =	0,999 901 85	0,999 901 94	0,999 901 90	
3961 =	1,000 587 23	1,000 587 21	1,000 587 22	
(34050) =	1,000 601 33	1,000 601 21	1,000 601 27	
34051 =	1,000 344 45	1,000 344 35	1,000 344 40	
34054 =	1,000 590 59	1,000 590 63	1,000 590 61	
713 =	1,000 045 69	1,000 045 71	1,000 045 70	
714 =	1,000 045 60	1,000 045 74	1,000 045 67	
11 =	1,000 453 21	1,000 453 26	1,000 453 24	
13 =	1,000 440 07	1,000 440 04	1,000 440 06	

4. VALEURS A 20°C DES ÉTALONS EN UNITÉ DU LABORATOIRE D'ORIGINE A LA DATE DU 12 OCTOBRE 1957. - Les valeurs des étalons voyageurs au 12 octobre 1957, date centrale des comparaisons, ont été calculées par interpolation à partir des résistances attribuées aux étalons par les Laboratoires nationaux avant et après les comparaisons au Bureau International.

<u>Etalons N^{os}</u>	<u>D.A.M.G.</u>		<u>Valeurs admises</u> <u>au 12 octobre 1957</u>
	21 mai 1957	15 janvier 1958	
306-3	1,000 052 3	1,000 047 2	1,000 049 2 Ω_{AE}
102-56	0,999 994 1	0,999 997 4	0,999 996 1
1H-4	0,999 994 7	0,999 997 3	0,999 996 3
	<u>P.T.B.</u>		
	avril-mai 1957	mars 1958	
1106820	0,999 972 3	0,999 971 8	0,999 972 0 Ω_{AO}
1106822	0,999 976 4	0,999 975 7	0,999 976 0 Ω_{AO}
	<u>N.B.S.</u>		
	mai 1957	janvier 1958	
72	1,000 010 6	1,000 010 7	1,000 010 7 Ω_{EU}
73	1,000 012 9	1,000 012 9	1,000 012 9 Ω_{EU}
	<u>N.R.C.</u>		
	avril 1957	décembre 1957	
498850	0,999 925 2	0,999 925 0	0,999 925 1 Ω_C
498851	0,999 918 2	0,999 918 0	0,999 918 1
1029331	0,999 984 0	0,999 983 7	0,999 983 8
1029332	0,999 984 1	0,999 983 5	0,999 983 7
	<u>L.C.I.E.</u>		
	5 juillet 1957	31 mars 1958	
638719	0,999 909 4	0,999 909 0	0,999 909 3 Ω_F
3961 ⁺	1,000 596 3	1,000 598 8	-----
⁺ Cet étalon ayant montré une variation fortuite excessive, a été éliminé à la demande du L.C.I.E.			
	<u>E.T.L.</u>		
	23 mai 1957	18 décembre 1957	
34050	1,000 601 4	1,000 600 9	1,000 601 1 Ω_J
34051	1,000 345 2	1,000 345 5	1,000 345 4
34054	1,000 590 9	1,000 591 2	1,000 591 1
	<u>N.P.L.</u>		
	mai 1957	décembre 1957	
713	1,000 049 0	1,000 049 0	1,000 049 0 Ω_R
714	1,000 049 0	1,000 049 2	1,000 049 1 Ω_R
	<u>I.M.</u>		
	mai 1957	juillet 1958	
11	1,000 453 6	1,000 452 2	1,000 453 1 Ω_U
13	1,000 438 9	1,000 440 4	1,000 439 4

5. VALEUR DE L'UNITÉ CONSERVÉE PAR CHACUN DES LABORATOIRES NATIONAUX,
EN FONCTION DE Q_{BIPM} *

TABLEAU IV

<u>D.A.M.G.</u>					
N°	306-3	1,000 049 2	$Q_{AE} = 1,000 065 88$	Q_{BIPM}	$Q_{AE} = Q_{BIPM} + 16,68 \mu\Omega$
	102-56	0,999 996 1	$= 1,000 013 08$		+ 16,98
	1H-4	0,999 996 3	$= 1,000 013 37$		+ 17,07
		1,000 013 87	$Q_{AE} = 1,000 030 78$	Q_{BIPM}	$Q_{AE} = Q_{BIPM} + 16,91 \mu\Omega$
<u>P.T.B.</u>					
N°	1106820	0,999 972 0	$Q_{AO} = 0,999 975 48$	Q_{BIPM}	$Q_{AO} = Q_{BIPM} + 3,48 \mu\Omega$
	1106822	0,999 976 0	$= 0,999 979 14$		+ 3,14
		0,999 974 0	$Q_{AO} = 0,999 977 31$	Q_{BIPM}	$Q_{AO} = Q_{BIPM} + 3,31 \mu\Omega$
<u>N.B.S.</u>					
N°	72	1,000 010 7	$Q_{EU} = 1,000 009 48$	Q_{BIPM}	$Q_{EU} = Q_{BIPM} - 1,22 \mu\Omega$
	73	1,000 012 9	$= 1,000 012 20$		- 0,70
		1,000 011 8	$Q_{EU} = 1,000 010 84$	Q_{BIPM}	$Q_{EU} = Q_{BIPM} - 0,96 \mu\Omega$
<u>N.R.C.</u>					
N°	498850	0,999 925 1	$Q_C = 0,999 920 42$	Q_{BIPM}	$Q_C = Q_{BIPM} - 4,68 \mu\Omega$
	498851	0,999 918 1	$= 0,999 914 42$		- 3,68
	1029331	0,999 983 8	$= 0,999 978 26$		- 5,54
	1029332	0,999 983 7	$= 0,999 978 30$		- 5,40
		0,999 952 7	$Q_C = 0,999 947 85$	Q_{BIPM}	$Q_C = Q_{BIPM} - 4,83 \mu\Omega$
<u>L.C.I.E.</u>					
N°	638719	0,999 909 3	$Q_F = 0,999 901 90$	Q_{BIPM}	$Q_F = Q_{BIPM} - 7,40 \mu\Omega$
<u>E.T.L.</u>					
N°	34050	1,000 601 1	$Q_J = 1,000 601 27$	Q_{BIPM}	$Q_J = Q_{BIPM} + 0,17 \mu\Omega$
	34051	1,000 345 4	$= 1,000 344 40$		- 1,00
	34054	1,000 591 1	$= 1,000 590 61$		- 0,49
		1,000 512 53	$Q_J = 1,000 512 09$	Q_{BIPM}	$Q_J = Q_{BIPM} - 0,44 \mu\Omega$
<u>N.P.L.</u>					
N°	713	1,000 049 0	$Q_R = 1,000 045 70$	Q_{BIPM}	$Q_R = Q_{BIPM} - 3,30 \mu\Omega$
	714	1,000 049 1	$= 1,000 045 67$		- 3,43
		1,000 049 05	$Q_R = 1,000 045 69$	Q_{BIPM}	$Q_R = Q_{BIPM} - 3,36 \mu\Omega$
<u>I.M.</u>					
	11	1,000 453 1	$Q_U = 1,000 453 24$	Q_{BIPM}	$Q_U = Q_{BIPM} + 0,14 \mu\Omega$
	13	1,000 439 4	$= 1,000 440 06$		+ 0,66
		1,000 446 25	$Q_U = 1,000 446 65$	Q_{BIPM}	$Q_U = Q_{BIPM} + 0,40 \mu\Omega$

6. ÉCARTS ENTRE LES UNITÉS NATIONALES. — Les résultats des comparaisons 1957 des étalons de résistance électrique sont résumés dans le tableau IV qui donne les écarts entre les unités des Laboratoires nationaux, telles qu'elles sont représentées par leurs étalons, et l'unité conservée au Bureau International (Ω_{BIPM}).

TABLEAU IV

Allemagne	{ [D. A. M. G.].....	$\Omega_{\text{BIPM}} + 16,9 \mu\Omega$
	{ [P. T. B.].....	+ 3,3
Amérique (États-Unis d')	[N. B. S.].....	— 1,0
Canada	[N. R. C.].....	— 4,8
France	[L. C. I. E.].....	— 7,4
Japon	[E. T. L.].....	— 0,4
Royaume-Uni	[N. P. L.].....	— 3,4
U. R. S. S.	[I. M.].....	+ 0,4

À la suite de ces comparaisons le D. A. M. G. a décidé, comme il en avait informé le Comité Consultatif d'Électricité réuni à Sèvres en juin 1957, de modifier la valeur de son unité de résistance électrique pour l'aligner sur celle de l'unité que conserve le Bureau International.

On admettra donc pour l'avenir qu'on avait, au 12 octobre 1957

$$\text{Unité nouvelle du D. A. M. G. } (\Omega_{\text{AE}}) = \Omega_{\text{BIPM}}.$$

7. CONCLUSION. — Sans précipitation, conformément au vœu formulé par le Comité Consultatif d'Électricité en juin 1957, les comparaisons ont été faites avec le maximum de soin, par deux observateurs travaillant indépendamment l'un de l'autre, dans des conditions que nous croyons être les meilleures.

La précision des mesures peut être estimée à 10^{-7} en valeur relative. Il ne s'ensuit pas pour autant, malheureusement, que nous connaissions les écarts entre les différentes unités nationales et celles du B. I. P. M. avec cette précision; nous pensons néanmoins que ces écarts sont déterminés à quelques dixièmes de microhm près.

Le rapprochement des résultats des présentes comparaisons (tableau IV) et de ceux des comparaisons de 1955 (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 25, 1956, p. 128, tableau VII) met en évidence de légères évolutions relatives des unités. L'allure systématique des variations semble d'ailleurs indiquer une petite augmentation de l'unité de résistance conservée par le Bureau International.

(Septembre 1958)

ANNEXE 3

Bureau International des Poids et Mesures

RAPPORT SUR LES COMPARAISONS
DES ÉTALONS NATIONAUX
DE FORCE ÉLECTROMOTRICE
(septembre-novembre 1957)

Par G. LECLERC

En même temps que leurs étalons de résistance, les Laboratoires nationaux faisaient parvenir au Bureau International leurs étalons de force électromotrice; le mode de transport et les dates d'arrivée et de départ de ces étalons sont donc les mêmes que pour les étalons de résistance (*voir* Annexe 2, tableau I, p. 102).

Dès le 10 juillet 1957, les piles étalons suivantes étaient ainsi rassemblées à Sèvres.

Laboratoire	Nos des piles	Symbole attribué au groupe
D. A. M. G. (Allemagne, zone Est)	5412, 5413, 5414, 5416, 5417	AE
P. T. B. (Allemagne, zone Ouest)	51202, 51203, 51204, 51205, 51206	AO
N. B. S. (États-Unis d'Amérique)	965, 966, 967, 1055, 1056, 1063	EU
N. R. C. (Canada)	122705, 122739, 428462, 428463	C
L. C. I. E. (France)	7054, 7055, 7056	F
E. T. L. (Japon)	456, 579, A 71, A 78, A 82	J
N. P. L. (Royaume-Uni)	5311, 5312, 5314, 5316, 5317, 5319	R
I. M. (U. R. S. S.)	5641, 5648, 5649, 5661, 2736, 2746	U
B. I. P. M.	2 groupes de 6 piles	I ₁ ; I _A

On sait qu'après leur transport il est nécessaire de laisser les éléments Weston se stabiliser pendant quelque temps avant d'entreprendre leur étude; aussi n'avons-nous commencé les comparaisons qu'en septembre 1957, les étalons ayant été, dès leur arrivée au Bureau International, immergés dans la cuve de mesure remplie d'huile de paraffine et conservés à 20° C. à l'abri de la lumière.

Les mesures ont été effectuées par deux observateurs, G. Léclerc (Lc) et J. Bonhoure (Jb), opérant indépendamment l'un de l'autre; chaque observateur a comparé deux à deux dans toutes les combinaisons possibles, les huit groupes nationaux plus un groupe du Bureau International (Groupe I₁ pour l'observateur Lc, groupe I_A pour l'observateur Jb).

Les trente-six séries « aller » et les trente-six séries « retour » de chaque observateur ont été faites symétriquement par rapport à une date centrale commune, le 12 octobre 1957, suivant nos méthodes de mesure habituelles (*Travaux et Mémoires B. I. P. M.*, 21, 1952, p. 43-65).

1. VALEURS DES GROUPES EN FONCTION DE LEUR MOYENNE.— A partir des résultats observés, chaque observateur a calculé, par la méthode des moindres carrés, la valeur à 20° C de chacun des neuf groupes qu'il avait comparés, en fonction de leur moyenne. On a ainsi obtenu

TABLEAU I

Groupe	Observateur			
	Lc		Jb	
AE =	N ₁	+ 37,10 μV	N ₂	+ 38,92 μV
AO =		+ 40,10		+ 41,95
EU =		- 16,43		- 14,45
C =		- 60,24		- 58,81
F =		+ 18,90		+ 20,76
J =		+ 4,58		+ 6,15
R =		+ 5,63		+ 7,30
U =		- 1,66		+ 0,19
I ₁ =		- 27,98		—
I _A =		—		- 42,00

$$\text{avec } N_1 = 1/9 (AE + AO + EU + C + F + J + R + U + I_1)$$

$$N_2 = 1/9 (AE + AO + EU + C + F + J + R + U + I_A)$$

2. VALEURS DES GROUPES, EXPRIMÉES EN FONCTION DE L'UNITÉ CONSERVÉE PAR LE BUREAU INTERNATIONAL (VBIPM). - Au 12 octobre 1957, la valeur des deux groupes du Bureau International était

$$I_1 = 1,018\ 596\ 8\ V_{\text{BIPM}} \quad \text{et} \quad I_A = 1,018\ 580\ 6\ V_{\text{BIPM}}$$

on en déduit

$$N_1 = I_1 + 27,98\ \mu\text{V} = 1,018\ 624\ 78\ V_{\text{BIPM}}$$

$$N_2 = I_A + 42,00\ \mu\text{V} = 1,018\ 622\ 60\ V_{\text{BIPM}}$$

d'où à 20°C

TABLEAU II

Groupe	Observateur		Moyenne
	Lc	Jb	
AE =	1,018 661 88	1,018 661 52	1,018 661 70 V _{BIPM}
AO =	664 88	664 55	664 72
EU =	608 35	608 15	608 25
C =	564 54	563 79	564 16
F =	643 68	643 36	643 52
J =	629 36	628 75	629 06
R =	630 41	629 90	630 16
U =	623 12	622 79	622 96

3. VALEURS DES ÉLÉMENTS DE CHAQUE GROUPE, EXPRIMÉES EN FONCTION DE V BIPM.
 A partir des résultats du tableau II, on a calculé la valeur à 20°C de chaque élément en tenant compte de l'écart qu'il présentait par rapport à la moyenne de son groupe.

Groupe	Nos des éléments	Observateur		Moyennes	V BIPM
		Lc	Jb		
AE	5412	1,018 684 4	1,018 683 7	1,018 684 05	
	5413	660 0	659 5	659 75	
	5414	666 6	665 9	666 25	
	5416	655 7	655 8	655 75	
	5417	642 7	642 7	642 7	
AO	51202	1,018 662 2	1,018 661 9	1,018 662 05	
	51203	666 4	666 0	666 2	
	51204	673 1	672 9	673 0	
	51205	661 5	661 2	661 35	
	51206	661 2	660 8	661 0	
EU	965	1,018 617 7	1,018 617 4	1,018 617 55	
	966	619 5	619 3	619 4	
	967	619 1	619 1	619 1	
	1055	598 5	598 3	598 4	
	1056	597 5	597 3	597 4	
	1063	597 7	597 5	597 6	
C	122705	1,018 543 6	1,018 542 9	1,018 543 25	
	122739	544 0	543 4	543 7	
	428462	586 0	585 0	585 5	
	428463	584 6	583 8	584 2	
F	7054	1,018 643 3	1,018 643 2	1,018 643 25	
	7055	639 7	639 4	639 55	
	7056	648 0	647 5	647 75	
J	456	1,018 655 3	1,018 654 6	1,018 654 95	
	579	651 7	650 9	651 3	
	A 71	612 3	611 7	612 0	
	A 78	614 1	613 7	613 9	
	A 82	613 4	612 8	613 1	
R	5311	1,018 629 9	1,018 629 3	1,018 629 6	
	5312	629 1	628 6	628 85	
	5314	630 5	630 0	630 25	
	5316	631 9	631 5	631 7	
	5317	632 9	632 3	632 6	
	5319	628 3	627 7	628 0	
U	5641	1,018 626 2	1,018 626 1	1,018 626 15	
	5648	627 6	627 4	627 5	
	5649	626 9	626 6	626 75	
	5661	627 5	627 3	627 4	
	2736	620 0	619 5	619 75	
	2746	610 4	609 9	610 15	

4. VALEURS DES ÉLÉMENTS, EXPRIMÉES EN UNITÉ DU LABORATOIRE D'ORIGINE
 À LA DATE DU 12 OCTOBRE 1957. - Pour chaque élément, nous avons simplement
 pris la moyenne des valeurs attribuées par le Laboratoire d'origine avant
 et après les comparaisons au Bureau International.

		12 mai 1957	7 février 1958	Valeurs admises au 12 octobre 1957	
Groupe AE	{	5412	1,018 680 5	1,018 682 2	1,018 681 35 V _{AE}
		5413	657 1	658 7	657 9
		5414	665 7	667 2	665 45
		5416*	657 9		
		5417	643 3	643 5	643 4
*L'étalon N° 5416 a été brisé au Bureau International après les comparaisons; nous n'avons pas pu en tenir compte pour le rattachement de V _{AE} à V _{BIPM} .					
		avril-mai 1957	fév.-avril 1958		
Groupe AO	{	51202	1,018 661 5	1,018 661 7	1,018 661 6 V _{AO}
		51203	665 6	665 0	665 3
		51204	672 4	671 3	671 85
		51205	661 0	663 9	662 45
		51206	661 8	660 7	661 25
		avril-mai 1957	décembre 1957		
Groupe EU	{	965	1,018 619 1	1,018 618 8	1,018 618 95 V _{EU}
		966	619 7	620 1	619 9
		967+	617 1	620 0	
		1055	599 2	599 8	599 5
		1056	599 2	599 3	599 25
		1063	599 5	599 3	599 4
+L'élément N° 967 présentant une variation nettement supérieure à celle des autres étalons du groupe, le N.B.S. a demandé que cet élément n'intervienne pas dans le calcul final des comparaisons.					
		mai 1957	janvier 1958		
Groupe C	{	122705	1,018 545 7	1,018 545 6	1,018 545 65 V _C
		122739	543 5	544 3	543 9
		428462	584 9	587 4	586 15
		428463	582 9	585 9	584 4
		juillet 1957	avril 1958		
Groupe F	{	7054	1,018 645 9	1,018 645 0	1,018 645 45 V _F
		7055	641 9	640 9	641 4
		7056	650 3	649 9	650 1
		mai 1957	février 1958		
Groupe J	{	456	1,018 657 6	1,018 660 5	1,018 659 05 V _J
		579	654 7	654 8	654 75
		A 71	614 6	615 5	615 05
		A 78	616 9	618 1	617 5
		A 82	616 1	616 4	616 25
		mai 1957	décembre 1957		
Groupe R	{	5311	1,018 622 4	1,018 625 9	1,018 624 15 V _R
		5312	624 2	624 5	624 35
		5314	624 1	625 6	624 85
		5316	622 2	627 0	624 6
		5317	627 9	627 8	627 85
		5319	623 2	623 3	623 25
		mai 1957	août 1958		
Groupe U	{	5641	1,018 618 0	1,018 618 9	1,018 618 45 V _U
		5648	618 5	618 7	618 6
		5649	617 5	618 1	617 8
		5661	618 5	618 9	618 7
		2736	609 3		
		2746	600 7	602 7	601 7

*Un conducteur s'étant cassé au ras d'une électrode, il n'a pas été possible
 de mesurer cet élément à son retour à l'I.M.

5. VALEUR DE L'UNITÉ CONSERVÉE PAR CHACUN DES LABORATOIRES, EN FONCTION DE V_{BIPM} .

D.A.M.G. (Groupe AE)

5412	1,018	681	35	V_{AE}	=	1,018	684	05	V_{BIPM}	d'où	$V_{AE} = V_{BIPM} + 2,65 \mu V$
5413		657	9		=		659	75			+ 1,8
5414		665	45		=		666	25			+ 0,8
5417		643	4		=		642	7			- 0,7
											<hr/>
											Moy. $V_{AE} = V_{BIPM} + 1,1 \mu V$

P.T.B. (Groupe AO)

51202	1,018	661	6	V_{AO}	=	1,018	662	05	V_{BIPM}	d'où	$V_{AO} = V_{BIPM} + 0,4 \mu V$
51203		665	3		=		666	2			+ 0,9
51204		671	85		=		673	0			+ 1,1
51205		662	45		=		661	35			- 1,1
51206		661	25		=		661	0			- 0,2
											<hr/>
											Moy. $V_{AO} = V_{BIPM} + 0,2 \mu V$

N.B.S. (Groupe EU)

965	1,018	618	95	V_{EU}	=	1,018	617	55	V_{BIPM}	d'où	$V_{EU} = V_{BIPM} - 1,4 \mu V$
966		619	9		=		619	4			- 0,5
1055		599	5		=		598	4			- 1,1
1056		599	25		=		597	4			- 1,8
1063		599	4		=		597	6			- 1,8
											<hr/>
											Moy. $V_{EU} = V_{BIPM} - 1,3 \mu V$

N.R.C. (Groupe C)

122705	1,018	545	65	V_C	=	1,018	543	25	V_{BIPM}	d'où	$V_C = V_{BIPM} - 2,4 \mu V$
122739		543	9		=		543	7			- 0,2
428462		586	15		=		585	5			- 0,6
428463		584	4		=		584	2			- 0,2
											<hr/>
											Moy. $V_C = V_{BIPM} - 0,8 \mu V$

L.C.I.E. (Groupe F)

7054	1,018	645	45	V_F	=	1,018	643	25	V_{BIPM}	d'où	$V_F = V_{BIPM} - 2,2 \mu V$
7055		641	4		=		639	25			- 1,8
7056		650	1		=		647	75			- 2,3
											<hr/>
											Moy. $V_F = V_{BIPM} - 2,1 \mu V$

E.T.L. (Groupe J)

456	1,018	659	05	V_J	=	1,018	654	95	V_{BIPM}	d'où	$V_J = V_{BIPM} - 4,0 \mu V$
579		654	75		=		651	3			- 3,4
A 71		615	05		=		612	0			- 3,0
A 78		617	5		=		613	9			- 3,5
A 82		616	25		=		613	1			- 3,1
											<hr/>
											Moy. $V_J = V_{BIPM} - 3,4 \mu V$

N.P.L. (Groupe R)

5311	1,018	624	15	V_R	=	1,018	629	6	V_{BIPM}	d'où	$V_R = V_{BIPM} + 5,35 \mu V$
5312		624	35		=		628	85			+ 4,4
5314		624	85		=		630	25			+ 5,3
5316		624	6		=		631	7			+ 7,0
5317		627	85		=		632	6			+ 4,7
5319		623	25		=		628	0			+ 4,7
											<hr/>
											Moy. $V_R = V_{BIPM} + 5,2 \mu V$

I.M. (groupe U)

5641	1,018	618	45	V_U	=	1,018	626	15	V_{BIPM}	d'où	$V_U = V_{BIPM} + 7,6 \mu V$
5648		618	6		=		627	5			+ 8,7
5649		617	8		=		626	75			+ 8,8
5661		618	7		=		627	4			+ 8,5
2746		601	7		=		610	15			+ 8,3
											<hr/>
											Moy. $V_U = V_{BIPM} + 8,4 \mu V$

6. ÉCARTS ENTRE LES UNITÉS NATIONALES. — Les résultats des comparaisons 1957 des étalons de force électromotrice sont rassemblés dans le tableau III qui donne les écarts entre les unités des Laboratoires nationaux, telles qu'elles sont représentées par leurs étalons, et l'unité conservée au Bureau International (V_{BIPM}).

TABLEAU III

Allemagne	{ [D. A. M. G.].....	$V_{\text{BIPM}} + 1,1 \mu\text{V}$
	{ [P. T. B.].....	+ 0,2
Amérique (États-Unis d')	[N. B. S.]..	- 1,3
Canada	[N. R. C.].....	- 0,8
France	[L. C. I. E.].....	- 2,1
Japon	[E. T. L.].....	- 3,4
Royaume-Uni	[N. P. L.].....	+ 5,2
U. R. S. S.	[I. M.].....	+ 8,4

7. CONCLUSION. — Les éléments Weston demeurent des étalons délicats et fragiles; quelles que soient les précautions prises, les transports leur sont toujours préjudiciables et perturbent souvent leurs valeurs. De ce fait, et bien que les résultats bruts des comparaisons entre étalons voyageurs effectuées au Bureau International soient connus à quelques dixièmes de microvolt près, il est difficile d'obtenir finalement les écarts entre les unités nationales de force électromotrice avec une précision supérieure au microvolt.

Dans ces conditions, on constate que les résultats des comparaisons de 1957 (tableau III) ne font apparaître aucune évolution certaine de l'une quelconque des unités nationales depuis 1955 (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 25, 1956, p. 137, tableau V). Il est par ailleurs intéressant de noter que la somme algébrique des écarts qui existent entre les résultats de 1957 et ceux de 1955 est très faible ($- 0,7 \mu\text{V}$), ce qui témoigne en faveur de la stabilité de l'unité V_{BIPM} conservée par le Bureau International.

(Septembre 1958)

ANNEXE 4

Bureau International des Poids et Mesures

RÉSULTATS D'UNE ENQUÊTE SUR LES AVANTAGES ET LES INCONVÉNIENTS RESPECTIFS DES FILS ET DES RUBANS GÉODÉSIIQUES

Par A. BONHOURE

La lettre-circulaire ci-après a été adressée par le Bureau International, le 11 mars 1957, à une trentaine d'Instituts spécialisés et à quelques constructeurs de matériels pour la mesure des bases géodésiques.

« Ainsi que vous le savez, le Bureau International s'est intéressé à la méthode de mesure des bases géodésiques préconisée par le Prof. Jäderin dès que l'invar, découvert il y a plus d'un demi-siècle, permit d'atteindre, avec ce procédé, une précision élevée.

Il semble que, tout naturellement, on ait substitué des fils d'invar aux fils d'acier utilisés jusqu'alors et que la question de l'emploi éventuel de rubans ne se soit pas même posée à cette époque. Pourtant, en Grande-Bretagne, aux États-Unis d'Amérique et au Canada on se sert depuis longtemps presque exclusivement de rubans, sans que nous sachions très bien d'ailleurs quelle a été la raison de ce choix.

Il nous apparaît maintenant que les rubans géodésiques présentent, par rapport aux fils, certains avantages qui devraient conduire les géodésiens à leur accorder la préférence. Ces avantages sont les suivants

1° Diamètre d'enroulement plus petit (20 à 25 cm), facilitant les transports. Un tambour de 4 fils de 24 m plus 1 fil de 8 m pèse environ 25 kg. Quatre rubans de 24 m de longueur et 5 mm de largeur, enroulés sur des tambours individuels logés dans un coffret approprié, ne pèsent pas plus de 6 à 7 kg. Leur transport serait donc moins onéreux que celui des fils.

2° Les rubans ne comportent pas de réglettes dont la liaison avec les fils constitue un point faible. Leur construction est plus simple et devrait être moins coûteuse.

3° L'emploi des rubans permet de supprimer le fil de 8 m et le ruban de 4 m qui accompagnent généralement les fils de 24 m. L'un des rubans de 24 m, divisé sur toute sa longueur, suffirait à mesurer l'appoint.

4° Enfin, on peut éviter facilement avec les rubans l'erreur de torsion axiale qui a été mise en évidence sur des fils mesurés au Bureau International (*Bulletin Géodésique*, mars 1956, n° 39, p. 74).

Par contre, sur le terrain, les rubans sont plus sensibles que les fils à l'action du vent.

La grande expérience que votre Institut a acquise dans la mesure des bases géodésiques et dans l'usage des fils d'invar nous incite à vous demander quelle est votre opinion et celle de vos collaborateurs sur cette question ».

Nous avons reçu 26 réponses dont nous essaierons de faire la synthèse.

Il faut d'abord remarquer que le premier avantage attribué aux rubans dans cette circulaire (volume et poids plus faibles du tambour), n'a généralement pas été compris comme nous l'entendions. Les réponses ont été, en majorité, que le gain de quelques kilogrammes sur l'ensemble du matériel utilisé pour une mesure de base ne présentait que peu d'intérêt. En réalité, nous avions surtout pensé au transport des fils entre l'Institut qui les utilise et le Bureau International qui souvent les mesure. Le transport des étalons non accompagnés s'effectue le plus souvent par avion, quelquefois sur de très longs parcours, où un gain de poids d'une vingtaine de kilogrammes n'est pas négligeable; mais c'est surtout lorsque les étalons sont accompagnés que le voyageur apprécierait le faible poids et le petit volume d'un tambour pour rubans, qui peut se transporter à la main. Les manutentions en seraient pour lui grandement facilitées.

D'autre part, le Bureau International a fait circuler récemment un ruban étalon de 24 m entre plusieurs Laboratoires très éloignés. Ce ruban a voyagé par la valise diplomatique des Ambassades, grâce auxquelles les visites douanières si dangereuses pour les instruments de précision ont pu être évitées. Un fil, plus encombrant, n'aurait probablement pas pu être acheminé par la même voie.

Le second avantage (absence de réglettes) a été reconnu unanimement et certains y attachent une grande importance. Il est juste de remarquer cependant que lorsque la jonction entre le fil et les réglettes est faite correctement, on ne constate pas d'allongement imputable à leur liaison. Pour obtenir un bon résultat on doit exclure toute soudure qui recuirait le fil près des réglettes. On procède de la manière suivante : Les extrémités du fil F, dont le diamètre est de 1,7 mm, sont filetéés avec une filière

de 1,6 mm au pas de 0,30 mm. Une petite pièce cylindrique A, appelée appendice, de 5 mm de diamètre et de 18 mm de longueur environ, est percée longitudinalement et taraudée au même diamètre et au même pas que le fil. Ce trou dans A est, à l'une de ses extrémités, alésé sur deux ou trois millimètres au diamètre du fil (1,7 mm); à l'autre extrémité, il est légèrement fraisé. Du côté de cette fraisure, le diamètre de l'appendice A est réduit à 3 mm sur une longueur de 8 mm; cette partie est filetée. L'appendice A est ensuite vissé à fond sur le fil F de manière que la partie lisse de celui-ci s'engage dans la partie alésée de A. L'extrémité du fil qui débouche du côté de la fraisure est coupée à une longueur convenable et soigneusement matée en M. La réglette R est percée, taraudée et vissée à force sur A. Enfin, une petite goupille transversale G entame tangentiellement l'appendice A afin de le fixer définitivement dans la réglette R.

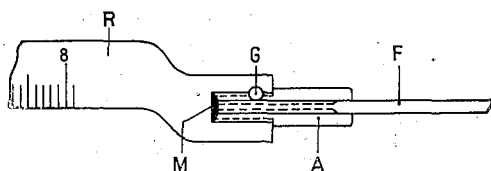


Fig. 1.

Bien que ce procédé de jonction donne satisfaction, il n'en demeure pas moins que la supériorité des rubans, de ce point de vue, est indiscutable.

Le troisième avantage (possibilité de supprimer le fil de 8 m et le ruban de 4 m pour les appoints) est admis par la plupart de nos correspondants, mais beaucoup font remarquer qu'on peut généralement donner aux bases une longueur multiple de 24 m et, par conséquent, ne pas avoir d'appoint à mesurer.

Le quatrième avantage (possibilité d'éviter toute erreur due à la torsion axiale) n'a pas été contesté, mais personne ne pense que cette erreur, difficile à éviter avec les fils, puisse avoir quelque influence sur la précision des mesures de base; elle est en effet généralement faible et pas toujours de même signe. Il en est autrement lorsqu'on cherche le maximum de précision, par exemple dans des comparaisons de bases de différents Laboratoires, comme celles qui sont organisées périodiquement par le Bureau International. La longueur du ruban utilisé pour ces comparaisons semble bien définie, à une époque déterminée, à $0,5 \cdot 10^{-6}$ près (environ 10μ pour 24 m); mais il faut s'assurer, avant chaque mesure, que l'accrochage du ou des poids tenseurs n'a pas entraîné une torsion axiale du ruban.

En ce qui concerne l'action du vent, qui est plus forte sur les rubans que sur les fils, il ne semble pas que les utilisateurs des rubans craignent que cette action entraîne des erreurs notables; elle pourrait plutôt empêcher les mesures lorsque le vent est trop fort et irrégulier, d'où une perte de temps. Certains matériels sont conçus pour utiliser les rubans au-dessus des rails de chemin de fer, à une hauteur de 15 cm, où l'effet du vent est peu sensible.

Plusieurs correspondants signalent que le rapport de la surface au volume est, pour les rubans, à peu près le double de celui des fils de dimensions usuelles. Il s'ensuit que la température des fils sur le terrain, assez mal connue, est peut-être encore plus difficile à mesurer pour les rubans à cause de leur plus grande surface de rayonnement. Des expériences pourraient être effectuées pour préciser cette question.

Dans plusieurs réponses on fait observer que les « coques », ou courbures accidentelles, se forment moins facilement sur les rubans que sur les fils.

Il est difficile de tirer des conclusions formelles de cette enquête parce que les géodésiens utilisent en général exclusivement soit des fils, soit des rubans; il leur est en conséquence impossible d'émettre une opinion fondée sur l'expérience, relativement aux avantages et aux inconvénients comparés de ces deux sortes d'instruments. Nous avons même noté que deux géodésiens, possédant une grande expérience des mesures sur le terrain, étaient arrivés à des conclusions opposées.

Quant à nous, si nous considérons seulement la détermination de la longueur des rubans et des fils géodésiques dans un laboratoire, nous estimons que la mesure des rubans est susceptible d'une meilleure précision que celle des fils.

Cette comparaison entre fils et rubans suppose évidemment qu'il s'agit d'instruments ayant, les uns et les autres, des dilatabilités du même ordre de grandeur et une bonne stabilité. En ce qui concerne la dilatabilité, il semble qu'on ne puisse malheureusement pas se procurer actuellement en France des rubans d'invar suffisamment écrouis ayant, après laminage, un coefficient de dilatation négatif que l'on puisse amener au voisinage de zéro par un étuvage approprié, comme nous avons l'habitude de le faire pour les fils d'invar; mais il ne s'ensuit pas que la fabrication de tels rubans soit impossible. Le Bureau International a retrouvé dans ses archives la trace d'un ruban dont le coefficient de dilatation, $+0,094 \cdot 10^{-6}$ à 20° C, aurait pu être porté à $+0,3 \cdot 10^{-6}$ environ par un étuvage à 80° C tout en lui assurant

une bonne stabilité. Cette dilatabilité serait encore très acceptable pour un étalon géodésique (1).

En conclusion, il semble bien, si l'on met à part les facilités de transport offertes par les rubans grâce à un diamètre d'enroulement plus petit et sur lesquelles nous avons insisté, que ces deux espèces d'étalons géodésiques conduisent à des résultats équivalents aussi bien dans la commodité de leur emploi que dans la précision des mesures de base sur le terrain.

(Septembre 1958)

(1) *Note ajoutée aux épreuves.* — Récemment (mars 1959), les Aciéries d'Imphy nous ont fourni un ruban d'invar obtenu par un nouveau procédé et dont le coefficient de dilatation est $-0,878 \times 10^{-6}$ à 20° C. L'objection formulée ne doit donc pas être retenue.

ANNEXE 5

Bureau International des Poids et Mesures

FIL DE SUSPENSION
POUR LES PESÉES HYDROSTATIQUES

Préparation et résultats d'emploi

Par A. BONHOURE

INTRODUCTION. — La pesée d'un corps dans l'eau est une opération notablement moins précise que la pesée du même corps dans l'air. Parmi les causes qui affectent cette précision, la principale est peut-être l'influence des effets capillaires, à la surface de l'eau, sur le fil de suspension du corps.

La détermination du volume des étalons de masse par pesées hydrostatiques, pratiquée au Bureau International, a souvent mis cette influence en évidence et l'on a cherché depuis longtemps à en diminuer l'importance.

W. J. Marek écrivait déjà en 1879 : « Afin d'éviter autant que possible cette cause d'erreur [attraction capillaire sur le fil de suspension] nous avons, sur le conseil de H. Sainte-Claire Deville, chauffé le fil de suspension avant la première pesée, mais en nous servant d'une flamme non éclairante d'un très petit bec de gaz. Cette pratique, d'une exécution très facile, est préférable à un lavage à l'alcool que nous employions auparavant » (1).

Un peu plus tard, à l'occasion de la détermination du volume des Prototypes du kilogramme qui allaient être distribués aux États ayant adhéré à la Convention du Mètre, M. Thiesen s'exprimait en ces termes : « Le fil de suspension en platine iridié, employé dans la plus grande partie des pesées hydrostatiques, avait une section de 0,047 5 mm² ($d = 0,24$ mm) calculée d'après le poids d'une longueur donnée. J'avais commencé à nettoyer

(1) MAREK (W. J.), *Pesées, Travaux et Mémoires B. I. P. M.*, 1, 1881, p. D 44.

assez souvent le fil entre les pesées hydrostatiques en le faisant rougir; mais cette méthode très recommandée m'a donné de très mauvais résultats; le fil devint rapidement très cassant, sa surface devint rugueuse et comme cristalline. Depuis le 30 mai 1889, après avoir dû renouveler plusieurs fois le fil, j'ai définitivement renoncé à cette méthode et je n'ai plus nettoyé le fil qu'en le faisant passer entre un linge mouillé d'eau ou d'alcool » (2).

Enfin, dans son important Mémoire sur la détermination du volume du kilogramme d'eau, P. Chappuis reprend le même sujet et constate qu'un fil de suspension nu, nettoyé avec soin, ou même chauffé au rouge avant l'immersion, provoque un amortissement rapide de la balance dû au ménisque d'eau attaché au fil. Il ajoute : « ... après deux ou trois oscillations, on peut constater que la balance a perdu sa période d'oscillation propre, et que les petits mouvements périodiques, d'une fréquence beaucoup plus grande, qu'elle effectue encore, sont effectués sous l'action de la membrane superficielle de l'eau. Cette circonstance réduit beaucoup la précision des pesées hydrostatiques exécutées avec un fil métallique nu, imparfaitement mouillé par l'eau pure » (3).

Il signale en outre que F. Kohlrausch (4) est parvenu à remédier à cet inconvénient en déposant par électrolyse du noir de platine sur le fil, de manière à former sur celui-ci une couche poreuse parfaitement mouillée par l'eau. Pour rendre le dépôt plus adhérent, Kohlrausch le portait au rouge sombre à l'aide d'un petit bec Bunsen.

P. Chappuis a lui-même utilisé cette méthode et il s'en est trouvé très satisfait. Il a même renoncé par la suite à chauffer le fil, ce qui n'a pas, dit-il, diminué l'efficacité du procédé.

PRÉPARATION DES FILS DE SUSPENSION. — Cette pratique est toujours observée au Bureau International, mais on n'avait pas cherché, jusqu'à présent, à réaliser les dépôts de noir de platine dans des conditions bien déterminées. Les quelques essais qui ont été faits récemment ont permis de préciser ces conditions, qui restent toutefois peu rigoureuses. On a opéré successivement sur un fil en platine de 0,36 mm de diamètre et sur deux fils en

(2) THIESEN (M.), Kilogrammes prototypes. 4^e partie. Détermination du volume des Prototypes du kilogramme, *Travaux et Mémoires B.I.P.M.*, 9, 1898, p. 8.

(3) CHAPPUIS (P.), Détermination du volume du kilogramme d'eau, *Travaux et Mémoires B. I. P. M.*, 14, 1910, p. 62.

(4) KOHLRAUSCH (F.), Dichte-Bestimmungen an äusserst verdünnten Lösungen, *Ann. der Physik u. Chemie*, LVI, 1895, p. 185.

acier inoxydable « ARC » (Cr 20 %, Ni 10 %) de 0,25 mm et 0,50 mm de diamètre.

L'électrolyse s'effectuait dans une éprouvette de 170 mm de hauteur et 13 mm de diamètre contenant une solution de tétrachlorure de platine à laquelle on avait ajouté un peu d'acétate de plomb. Deux bains ont été utilisés. Le bain N° 2 contenait 24/1000 de tétrachlorure de platine et 5/1000 d'acétate de plomb. Le bain N° 1 n'avait pas été dosé exactement, mais il était plus concentré que le bain N° 2.

L'anode était constituée par une lame mince de platine de 10×70 mm environ, placée contre la paroi interne de l'éprouvette, dont le centre était occupé par le fil à platiner et qui constituait la cathode. Les deux électrodes étaient reliées aux bornes d'un accumulateur de 4 V. Un milliampèremètre et une résistance variable de 100Ω étaient incorporés dans le circuit.

Avant chaque essai le fil était soigneusement nettoyé, au besoin avec du papier de potée d'émeri, trempé pendant quelques minutes dans l'acide sulfurique et lavé abondamment à l'eau distillée.

Lorsque le dépôt de platine était terminé, on lavait à nouveau le fil avec précaution. Le dépôt doit avoir un bel aspect noir mat; il est fragile et ne doit subir aucun contact.

RÉSULTATS DES ESSAIS. — Le fil ainsi préparé était essayé à l'aide de la balance hydrostatique du Bureau International (balance Rueprecht N° 6). Le fil, long d'une quinzaine de centimètres, était accroché sous l'un des plateaux de la balance et il plongeait aux trois quarts dans un récipient contenant de l'eau bidistillée. La surface de l'eau était maintenue aussi propre que possible par aspiration, à l'aide d'un tube de verre effilé dont la pointe était coupée en biseau (3).

On déclenchait la balance et l'on donnait aux oscillations du fléau une amplitude voisine de 25 divisions de l'échelle de mesure. On observait les élongations du fléau et l'on en inscrivait dix à partir du moment où leur amplitude était voisine de 20 divisions. La moyenne des différences entre la 1^{re} et la 9^e élongation et entre la 2^e et la 10^e donnait un nombre représentatif de l'amortissement de la balance. En se plaçant toujours dans les mêmes conditions, on pouvait donc comparer l'influence des différents dépôts qui ont été effectués sur les quelques fils métalliques que nous avons choisis.

On a d'abord fait quelques observations des oscillations de la balance, sans fil de suspension. Elles correspondent à l'amortissement minimum de l'instrument.

(3) Procédé indiqué par Chappuis, référence (2), p. 63.

On a essayé aussi d'observer les oscillations avec un fil de suspension nu trempant dans l'eau. On a constaté, comme Chappuis, que l'amortissement de la balance est si rapide, qu'après cinq ou six élongations, et en partant cependant d'une amplitude de 40 divisions, les oscillations n'ont plus aucune signification quant à l'amortissement.

On a rassemblé dans le tableau I les résultats des essais effectués avec chacun des trois fils, en indiquant l'intensité I du courant d'électrolyse, la durée de passage de ce courant et le numéro du bain utilisé.

TABLEAU I

Balance hydrostatique Rueprecht N° 6 (Amortissement dans l'air: 1,4)

Amortissement avec divers fils de suspension dans l'eau

(Les résultats suivis d'un astérisque (*) ont été obtenus avec un fil préalablement séché).

Durée de l'électrolyse en minutes	0,5	1	2	3	6	10	15	30
a. Fil en platine (d = 0,36 mm)								
Bain N° 1	I = 30 mA	4,4 5,3	2,1 2,6	(5,6) 2,8	2,4	3,7	3,3 2,8	3,5 2,7
	I = 50 mA	3,2 3,1	3,1	3,5	3,2 2,3*	(8,4) 2,0		
	I = 100 mA	5,4	2,6	3,8				
b. Fil en acier <u>inoxydable</u> "ARC" (d = 0,25 mm)								
Bain N° 1, I = 30 mA	1,9 1,7	1,3	1,6 1,4	1,3 1,5	1,6 1,6*			
Bain N° 2, I = 30 mA	1,6 1,4 1,5*		1,3 1,4	1,4 1,2				
c. Fil en acier <u>inoxydable</u> "ARC" (d = 0,50 mm)								
Bain N° 1, I = 30 mA	2,7 2,0	1,8	1,5	1,9 1,4	*1,5 1,0*			
Bain N° 2, I = 30 mA			1,7 1,7		1,8 1,9			

Les fils étaient essayés, le plus souvent, aussitôt après avoir été platinés et lavés, c'est-à-dire qu'ils étaient déjà mouillés lorsqu'on les plongeait dans l'eau, sous la balance. Quelques résultats, identifiés par un astérisque, ont été obtenus après avoir laissé sécher naturellement les fils pendant quelques heures. Pour le fil en platine, deux résultats indiqués entre parenthèses

ont probablement été faussés par quelque poussière restée à la surface de l'eau, près du fil ou à son contact.

Les nombres les plus faibles indiquent que l'amortissement de la balance est le moins perturbé.

L'examen de ces résultats montre que, pour certains d'entre eux, la balance semble moins amortie que lorsqu'elle oscille librement, sans fil de suspension. Cela est dû à l'imprécision relative des observations. Dans l'ensemble, le fil de platine donne les résultats les moins bons. Les résultats fournis par les deux fils en acier inoxydable sont à peu près équivalents, malgré la différence de leurs diamètres. La composition des bains, dans les limites où nous nous trouvons, paraît sans importance. Il ne semble pas indispensable, non plus, que le fil soit maintenu constamment mouillé depuis le dépôt du platine jusqu'à l'emploi. On a enregistré, en effet, des résultats au moins aussi bons avec des fils qui avaient séché avant l'essai.

P. Chappuis mentionne dans son Mémoire précédemment cité (3) qu'il terminait le platinage du fil en inversant le courant une ou deux fois pour rendre probablement le dépôt plus poreux.

Nous avons fait aussi quelques essais dans ce sens, sans en tirer aucune amélioration; les résultats en sont donnés dans le tableau II.

TABLEAU II

Balance hydrostatique Rueprecht N° 6

Amortissement avec des fils de suspension dans l'eau, dont l'électrolyse est terminée par des inversions de courant

Durée de l'électrolyse après chaque inversion	5 s	10 s	15 s	20 s	3 min
<u>Fil en platine (d = 0,36 mm)</u>					
I = 30 mA pendant 2 min					
Nombre d'inversions	1			2,8	
	5	{	3,3	3,4	
			1,9*		
			2,1		
			2,6*		
*					
<u>Fil en acier inoxydable "ARC" (d = 0,50 mm)</u>					
I = 30 mA pendant 3 min					
Nombre d'inversions	1			2,0	2,0
	5	{	2,9	1,5	
			2,1		
	10		1,8	1,8	
I = 30 mA pendant 10 min					
Nombre d'inversions 10				2,0	

CONCLUSION. — La conclusion à tirer de ces essais assez nombreux et variés, est que pour l'usage qui nous occupe (pesées

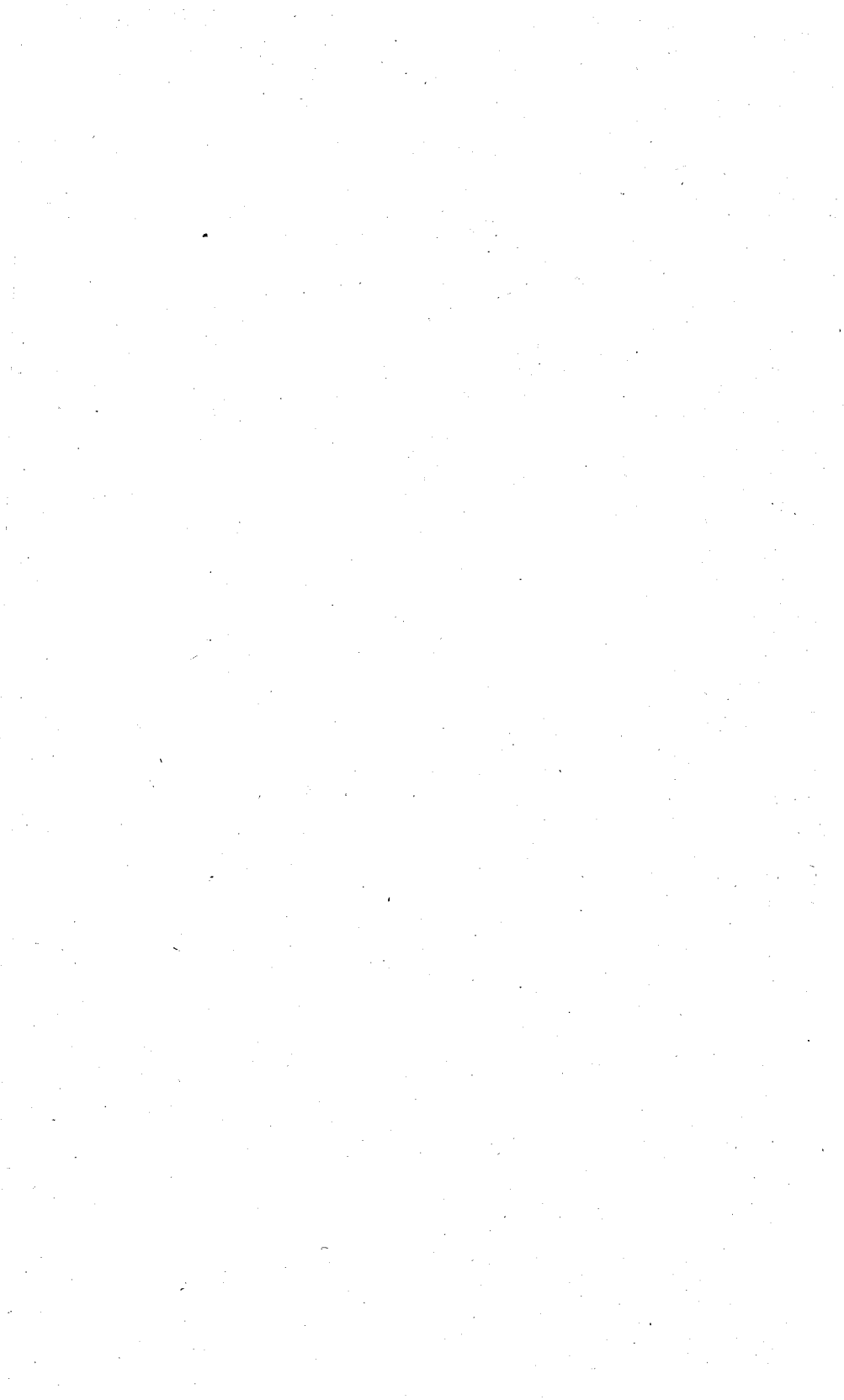
dans l'eau de masses de 1 kilogramme) un fil en acier inoxydable de 0,25 mm de diamètre convient bien, car il ne se rompt que sous une charge de trois kilogrammes.

Le dépôt électrolytique sera fait dans un bain ayant approximativement la composition suivante :

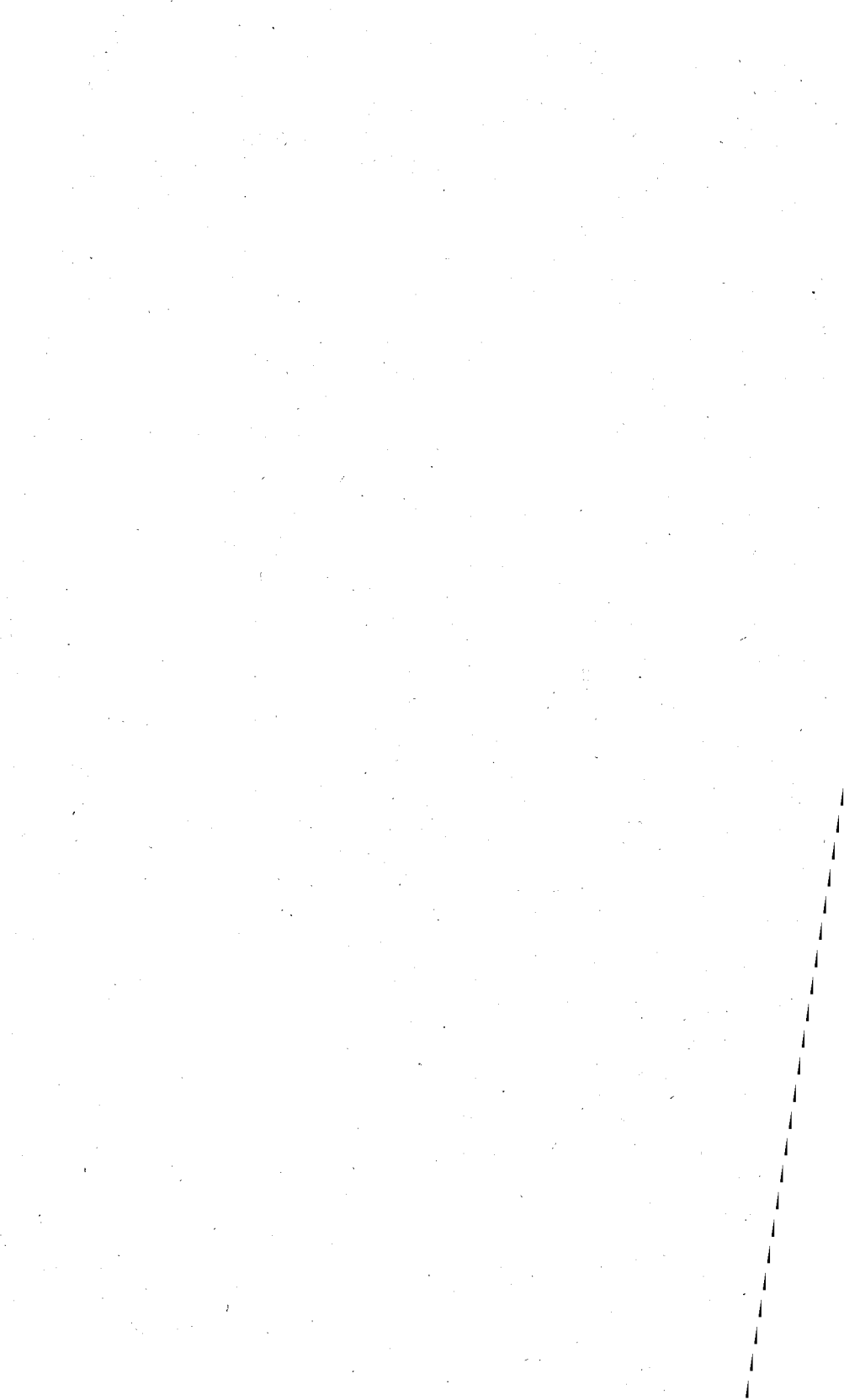
Eau distillée.....	200 parties
Tétrachlorure de platine.....	5 »
Acétate de plomb.....	1 »

L'intensité du courant d'électrolyse sera de 30 mA et la durée de celle-ci de 2 à 6 minutes. Mais ces données peuvent varier, sans inconvénient, dans d'assez larges limites.

(Juin 1958)



NOTICES NÉCROLOGIQUES



M. A. CHATELAIN

(1866-1957)

Par G. D. BOURDOUN

Le Professeur Michel Andréévitch Chatelain, célèbre savant russe, éminent métrologiste et Membre-correspondant de l'Académie des Sciences de l'U. R. S. S., est décédé à Leningrad le 31 janvier 1957 dans sa 92^e année, après avoir consacré sa vie et son activité créatrice au développement de l'électrotechnique et des domaines proches de l'énergétique, de la technique de l'éclairage et de la métrologie.

M. A. Chatelain est né le 13 janvier 1866 à la forteresse d'Anapa (Caucase). Il fit ses études au lycée classique de Tiflis et à la Faculté physico-mathématique de l'Université de Saint-Pétersbourg. Puis il suivit à Paris les cours des savants célèbres et travailla dans le domaine de l'électrotechnique.

Dès son retour en Russie en 1893, M. A. Chatelain procéda à l'organisation de la chaire d'Électrotechnique, la première en Russie, et du laboratoire correspondant à l'Institut Électrotechnique de Saint-Pétersbourg; depuis 1903 jusqu'aux derniers jours de sa vie, il dirigea la chaire d'Électrotechnique à l'Institut Polytechnique.

A partir de 1920, M. A. Chatelain prit une part active aux travaux de la Commission d'État pour l'électrification de la Russie dont il était le membre et le fondé de pouvoir pour la région du Nord. Il fut conseiller et expert lors de la construction en U. R. S. S. des centrales hydroélectriques de Volchov, de Svir, de Dniepr, etc.

En 1931 il fut élu Membre-correspondant de l'Académie des Sciences de l'U. R. S. S. et depuis il prit une part active aux travaux des institutions scientifiques de l'Académie; il fut en particulier à la tête du Laboratoire de Leningrad, créé par lui dans ses dernières années, et de l'Institut Énergétique de l'Académie des Sciences de l'U. R. S. S.

Pendant plus de soixante ans il travailla dans le domaine de l'électrotechnique et se montra comme un savant plein d'initiative

et un professeur compétent; il a formé toute une école de savants électrotechniciens et a fait un grand nombre d'études scientifiques.

Dans le domaine de la métrologie, les mérites de M. A. Chatelain ne sont pas moins importants.

Son activité métrologique commença à la fin du siècle dernier par la création du laboratoire d'électrotechnique de l'Institut Électrotechnique de Saint-Pétersbourg, où les mesures électriques prirent une place considérable. En 1900 il publia son cours « Mesures électriques ». Pendant le Congrès International d'Électrotechnique qui eut lieu à Paris en 1900, M. A. Chatelain fut élu vice-président de la section des mesures électriques. Il manifesta toujours par la suite un grand intérêt pour les mesures électriques et photométriques.

En 1924, M. A. Chatelain fut appelé à la Chambre Centrale des Poids et Mesures, où il prit une part active à la création des installations-types dans le domaine de la photométrie et aux travaux sur les étalons électriques et de radium. En 1929-1931 il occupa le poste de président de la Chambre Centrale des Poids et Mesures.

M. A. Chatelain prit part, en qualité de délégué de l'U. R. S. S., aux Conférences Générales des Poids et Mesures de 1927 et de 1933. Élu Membre du Comité International des Poids et Mesures en 1929, il en devint Membre honoraire en 1948; sa haute compétence a été particulièrement appréciée au sein de notre Comité au moment où le Bureau International étendait ses activités au domaine des unités et étalons électriques.

En 1937, il participa comme représentant de l'U. R. S. S. à la Conférence Internationale de Métrologie Pratique, qui donna naissance à l'Organisation Internationale de Métrologie Légale. En octobre 1956, à la première session du Comité International de Métrologie Légale, M. A. Chatelain en fut élu Membre honoraire.

En janvier 1956, le Gouvernement de l'U. R. S. S. attribua au Professeur M. A. Chatelain le haut titre de Héros du Travail Socialiste.

Toute la longue vie de M. A. Chatelain est un bel exemple de dévouement à la science et à la technique.

C. STATESCU

(1878-1958)

Le Professeur Constantin Stasescu naquit en 1878 à Pitesti. Il acheva ses études en Allemagne, à l'Université de Göttingen, où il passa son doctorat.

De 1910 jusqu'en 1940, C. Stasescu a professé à la Faculté de Physique de l'Université de Bucarest, successivement comme Chef de Travaux, chargé de cours et titulaire de la chaire de Physique générale. Tant à la Société de Physique qu'à l'Athénée Roumain et autres sociétés, il a fait preuve d'une intense activité en faveur de la diffusion des connaissances scientifiques dans les masses populaires.

Ses travaux de recherches dans le domaine de la Physique portent surtout sur la réflexion de la lumière dans les couches métalliques minces, les propriétés magnétiques des solutions, la dispersion de l'air, de l'oxygène et du bioxyde de carbone dans l'infrarouge, les relations entre l'indice de réfraction et la densité de certains gaz, etc.

En 1919, il fut nommé Directeur Général des Poids et Mesures, poste qu'il occupa jusqu'en 1939, c'est-à-dire jusqu'à sa retraite.

Le nom de C. Stasescu est intimement lié aux premières mesures — audacieuses à l'époque — de modernisation de la législation métrologique et d'organisation de la Direction Générale des Poids et Mesures de Roumanie; il étendit les activités de ce Service aux nouveaux appareils et aux nouvelles méthodes de mesure, et créa des laboratoires centraux de métrologie ainsi que des cours professionnels pour le perfectionnement des cadres métrologiques.

C'est aussi à son initiative que nous devons la publication de la première revue spécialisée « *Metrotehnica* ».

C. Stasescu a représenté la Roumanie aux Conférences Générales des Poids et Mesures de 1921, 1927 et 1933, prenant une part active aux travaux.

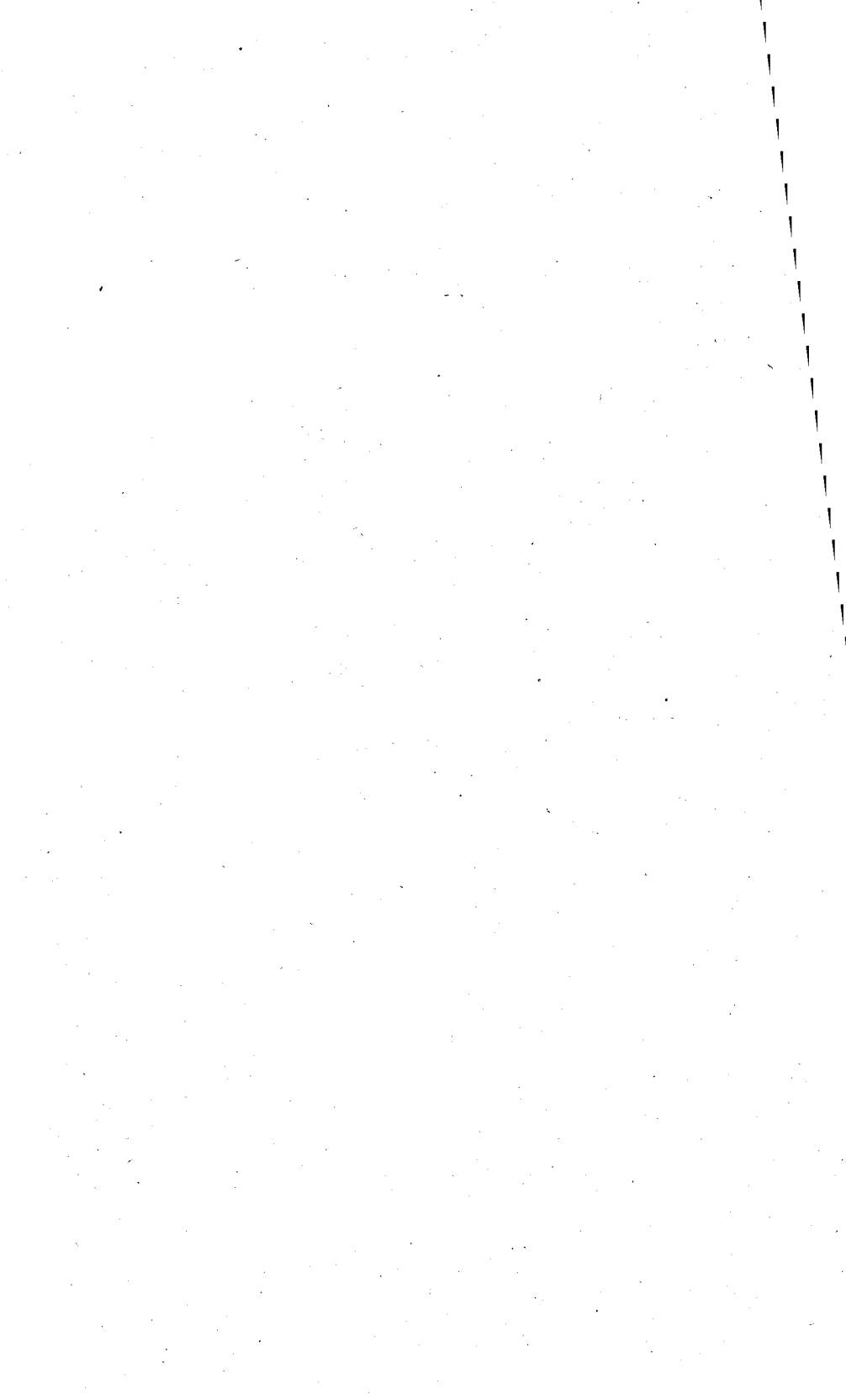
En 1929, il fut élu Membre du Comité International des Poids et Mesures, fonction qu'il détint jusqu'au moment de sa mort, survenue le 10 avril 1958 à l'âge de 80 ans après une longue et pénible maladie qui, depuis plusieurs années, lui avait complètement interdit toute activité.

COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE

SESSION DE 1958.

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

RAPPORT ET ANNEXES



PRÉSIDENT
du Comité International des Poids et Mesures

A. DANJON

LISTE DES MEMBRES

DU

COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE

Président

J. DE BOER, Membre du Comité International des Poids et Mesures; Professeur à l'Université, *Amsterdam*.

Membres

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT (P. T. B.), *Braunschweig* (H. MOSER, Leitender Direktor, P. T. B.; M. RICHTER, Chef principal des Laboratoires de Thermométrie du Deutsches Amt für Mass und Gewicht [D.A.M.G.]).

NATIONAL BUREAU OF STANDARDS (N. B. S.), *Washington 25, D. C.* (H. F. STIMSON, Heat Division).

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (N. R. C.), *Ottawa* (H. PRESTON-THOMAS, Chief of Heat and Solid State Physics).

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS (C.N.A.M.), *Paris* (G. A. BOUTRY, Professeur au C. N. A. M.).

CENTRAL INSPECTION INSTITUTE OF WEIGHTS AND MEASURES (C. I. I. W. M.), *Tokyo* (Y. TOMONAGA, Chief of the 1st Division).

KAMERLINGH ONNES LABORATORIUM (K. O. L.), *Leiden* (H. VAN DIJK, Conservateur pour la Thermométrie).

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY (N. P. L.), *Teddington* (J. A. HALL, Senior Principal Scientific Officer, Standards Division).

INSTITUT DE MÉTROLOGIE D. I. MENDÉLÉEV (I. M.), *Leningrad* (E. T. TCHERNICHEV, Sous-Directeur de l'I. M.).

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES (B. I. P. M.), *Sèvres* (Ch. VOLET, Directeur).

J. TIMMERMANS, Directeur du Bureau International des Étalons Physico-chimiques, *Boitsfort-lez-Bruxelles*.

G. BOZZA, Professeur de Physique technique au Politecnico, *Milano*.

Invités

F. G. BRICKWEDDE, Consultant to the Director, N. B. S., *Washington*.

H. J. KOSTKOWSKI, High Temperature Measurements Laboratory, N. B. S., *Washington*.

M. DEBURE, Chef du Service de Métrologie, Laboratoire d'Essais, C. N. A. M., *Paris*.

C. R. BARBER, Principal Scientific Officer, N. P. L., *Teddington*.

M^{me} P. ORLOVA, Chef du Laboratoire de Thermométrie, *Moscou*.

M^{me} N. R. BATARCHOUKOVA, Membre de l'I. M., *Leningrad*.

W. R. KEMP, Senior Research Officer, Heat Section, National Standards Laboratory of Australia, *Chippendale*.

J. TERRIEN, Sous-Directeur du B. I. P. M., *Sèvres*.

H. HIRAYAMA, Electrotechnical Laboratory, *Tokyo* (en stage au B. I. P. M., *Sèvres*).

ORDRE DU JOUR DE LA SESSION

1. *Échelle thermodynamique.*
 - a. Thermomètre à gaz.
 - b. Température thermodynamique des points fixes primaires.
 - c. Autres méthodes de mesure de la température thermodynamique.
 2. *Reproductibilité des points fixes primaires (actuels ou envisagés).*
 3. *Thermomètre à résistance de platine.*
 - a. Comparaison internationale de thermomètres.
 - b. Extension du domaine au-dessus de $630,5^{\circ}\text{C}$.
 - c. L'échelle du thermomètre à résistance au-dessous de $-182,970^{\circ}\text{C}$.
 4. *Écart entre l'Échelle Internationale et l'Échelle thermodynamique au-dessus du point du soufre.*
 5. *Comparaison internationale de lampes pyrométriques (étalons de luminance monochromatique).*
 6. *Échelle du thermomètre à tension de vapeur de l'hélium.*
 7. *Échelle Internationale de Température.*
 - a. Désignation.
 - b. Révision du texte.
 8. *Points fixes secondaires.*
 9. *Définition de la pression atmosphérique normale.*
 10. *Rôle et équipement du B. I. P. M.*
 11. *Questions diverses. Publications aux Procès-Verbaux du Comité Consultatif.*
-

5^e SESSION (1958)

PROCÈS-VERBAL

DE LA PREMIÈRE SÉANCE

TENUE AU BUREAU INTERNATIONAL

Vendredi 20 juin 1958

PRÉSIDENTE DE Mr J. DE BOER

La séance est ouverte à 9^h55^m.

Sont présents : MM. DE BOER, BOZZA, Van DIJK, HALL, MOSER, PRESTON-THOMAS, STIMSON, TCHERNICHEV, TIMMERMANS, TOMONAGA, VOLET, Membres du Comité Consultatif.

Assistent à la séance : M^{mes} BATARCHOUKOVA, ORLOVA, MM. BARBER, DEBURE, HIRAYAMA, KOSTKOWSKI, RICHTER, TERRIEN, invités;

MM. A. BONHOURE, MOREAU, J. BONHOURE, GIRARD, du Bureau International.

Excusé : Mr BOUTRY.

Mr le PRÉSIDENT souhaite la bienvenue aux délégués et propose de désigner Mr Hall comme Rapporteur, et Mr Terrien comme Secrétaire de la session.

Comparaison internationale de thermomètres
à résistance de platine.

Les questions couvertes par les points 1 et 2 de l'Ordre du Jour devant revenir ultérieurement, Mr le PRÉSIDENT aborde

le point 3 et invite Mr HALL à exposer les résultats de mesures comparatives sur trois thermomètres à résistance de platine dans dix Laboratoires, comparaisons recommandées en 1952 par le Comité Consultatif.

Mr HALL commente son rapport d'ensemble qui résume les résultats obtenus dans ces dix Laboratoires (Annexe T 1, p. T 35). La résistance à 0° C des thermomètres a augmenté d'une quantité correspondant à 0,007 deg pendant ces comparaisons, qui se sont étendues sur cinq années; le rapport R_{100}/R_0 a diminué d'une quantité correspondant à environ 0,002 deg sur l'intervalle 0-100° C.

D'après les résultats communiqués, Mr HALL conclut que l'intervalle de température entre 0 et 100° C est reproduit dans les divers laboratoires avec des écarts de l'ordre de 0,001 deg. Aux laboratoires japonais la valeur obtenue pour R_0 en ohms absolus paraît un peu élevée, mais ceci ne peut avoir aucune influence sur l'exactitude du rapport R_{100}/R_0 .

**Échelle du thermomètre à résistance de platine
au-dessous de — 182,970° C.**

Mr Van DIJK expose que l'on pourrait repérer les basses températures à 0,01 deg près avec un thermomètre à résistance de platine dans le domaine compris entre les points d'ébullition de H_2 et de O_2 , après étalonnage en ces deux points, et à quelques millièmes de degré si l'étalonnage est fait à un troisième point intermédiaire, qui pourrait être le point triple de O_2 (Annexe T 2, p. T 42); il souhaite que l'on se mette d'accord sur la valeur à attribuer au point d'ébullition de l'hydrogène.

Mr BARBER commente les conclusions qu'il a exposées (Annexes T 3 et T 4, p. T 52) en faveur d'une fonction quadratique pour l'interpolation de $\Delta Z = Z - Z_0$, où $Z = \frac{R_T - R_{H_2}}{R_{O_2} - R_{H_2}}$ pour le thermomètre utilisé, et où Z_0 est calculé par la même formule d'après une table $R = f(T)$ admise comme référence.

Un critère de pureté peut être proposé d'après la valeur maximum de ΔZ , ou peut-être mieux d'après la valeur maximum de Z afin de ne pas exclure le platine de la plus grande pureté. Les différences entre les tables obtenues expérimentalement aux États-Unis d'Amérique et en U. R. S. S. sont de l'ordre

semble facile. Mr TCHERNICHEV indique à ce sujet que les résultats expérimentaux les plus récents obtenus en U. R. S. S. sont en accord avec la valeur $20,38^{\circ}$ K.

Mr BARBER confirme que des mesures au thermomètre à gaz sont en préparation au N. P. L. pour ces basses températures. De plus, il compte avoir la possibilité de comparer dans ce laboratoire des thermomètres à résistance en platine très pur d'origine américaine, soviétique, allemande et anglaise.

Mr le PRÉSIDENT constate que personne n'élève d'objection contre la valeur $20,38^{\circ}$ K à attribuer au point d'ébullition de l'hydrogène de composition normale en para et ortho à la température ordinaire, et se félicite de cet accord qui va être très utile.

Mr Van DIJK préférerait utiliser l'hydrogène en équilibre, ce qui d'ailleurs ne présente aucune difficulté, car la différence des points d'ébullition ($0,116$ à $0,117$ degré) est connue avec précision.

Mr le PRÉSIDENT, au nom du Comité Consultatif, donne mission à MM. Hall, Barber et Van Dijk d'organiser des comparaisons de thermomètres à résistance de platine et des mesures au thermomètre à gaz, puis d'étudier et de mettre au point, en accord avec les Laboratoires, un projet d'extension de l'Échelle Internationale de Température entre les points d'ébullition de H_2 et O_2 .

Mesures au thermomètre à gaz au-dessus de $444,6^{\circ}$ C.

Mr MOSER commente les mesures de la température thermodynamique qu'il a faites avec J. Otto et W. Thomas aux points de congélation de l'or, de l'argent, du zinc, de l'antimoine et au point d'ébullition du soufre, par trois méthodes, avec cinq gaz différents, et en faisant varier les conditions expérimentales (Annexe T 6, p. T 67). Il insiste sur une innovation qu'il estime essentielle : le réservoir de gaz était immergé dans le corps fondu en équilibre avec la phase solide, au lieu d'être raccordé par thermocouple. Les résultats des mesures, cohérents et estimés exacts à mieux que $0,1$ deg près, indiquent que les températures de l'Échelle Internationale sont trop basses de $0,06$ deg au point du soufre (Blaisdell et Kaye ont indiqué une

différence de 0,12 deg) et au point du zinc, de 0,22 deg au point de l'antimoine, de 1,36 deg au point de l'argent, et de 1,76 deg au point de l'or.

Malheureusement, d'après les mesures de J. Oishi et M. Awano (Annexe T 7, p. T 75), ces écarts ne seraient que 0,69 deg au point de l'or et 0,4 à 0,5 deg au point de l'argent. Il est donc nécessaire d'obtenir des résultats concordants avant de réviser les valeurs assignées aux points fixes de l'Échelle Internationale. De nouvelles déterminations du point de l'argent, plus faciles que celles du point de l'or, suffiraient peut-être pour décider en faveur d'un de ces deux groupes de résultats, puisque leur différence paraît bien systématique et excède 1 deg au point de l'argent.

Mr MOSER rappelle aussi que C. Tingwaldt et H. Kunz ont confirmé à 0,2 deg près, par des mesures de pyrométrie optique, la différence entre les températures qu'il a obtenues pour les points de l'or et de l'argent.

Mr STIMSON espère qu'une mesure de la température thermodynamique du point de l'argent sera achevée prochainement au N. B. S., avec un four à quatre enveloppes assurant une uniformité de température de l'ordre de 0,003 à 0,004 deg dans un réservoir de 500 cm³. Il rappelle que Day et Sosman, il y a de cela 40 ans, estimaient déjà que la principale difficulté des mesures au thermomètre à gaz est d'assurer l'uniformité et l'estimation correcte de la température du réservoir.

Mr STIMSON a appris que J. Oishi avait l'intention de visiter cette année plusieurs Laboratoires d'Europe et des États-Unis, ce qui sera l'occasion d'utiles échanges de vues.

Mr TCHERNICHEV annonce que des mesures au thermomètre à gaz des points de l'or, de l'argent et du zinc sont au stade préliminaire en U. R. S. S.; le réservoir doit être immergé, soit dans le métal lui-même, soit dans un thermostat à bain d'étain; des résultats pourraient être obtenus en 1959.

Mr RICHTER signale que le D. A. M. G. envisage aussi de telles mesures avec un thermomètre à gaz à volume constant; on n'a toutefois pas encore décidé si les mesures seront faites avec le réservoir immergé ou simplement chauffé dans un four à température uniforme.

Formule d'interpolation du thermocouple Pt—Pt-Rh.

Mr MOSER a trouvé que la formule quadratique d'interpolation prescrite par l'Échelle Internationale pour le couple platine-platine rhodié est insuffisante pour raccorder les températures thermodynamiques déterminées au thermomètre à gaz (Annexe T 8, p. T 78), et que des formules plus compliquées ne sont pas beaucoup plus satisfaisantes. Il recommande l'abandon du thermocouple et son remplacement par le thermomètre à résistance de platine, dont l'emploi est possible jusqu'au point de congélation de l'or, avec des formules d'interpolation simples, comme il l'a déjà rappelé au Comité Consultatif de 1954 (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 24, 1954, p. T 31) (1).

Mr STIMSON remarque en effet que la validité de la formule de Callendar pour la résistance du platine est un hasard heureux, un « don du ciel » dont il convient de profiter.

Mr TIMMERMANS estime préférable, en principe, le thermomètre à résistance de platine, car il ne nécessite qu'un seul métal pur.

Mr PRESTON-THOMAS révèle au Comité le résultat d'un contrôle expérimental de la formule d'interpolation du thermomètre à résistance de platine. Neuf thermomètres différents, construits avec du platine de plusieurs origines, ont été étalonnés au point triple de l'eau, au point d'ébullition de l'eau, et au point de congélation du zinc; ils ont été comparés en deux autres points de congélation, ceux du cadmium et de l'étain. L'accord est aussi bon qu'on pouvait l'espérer, c'est-à-dire à 0,000 5 degré.

Point de congélation du zinc.

Mr le PRÉSIDENT présume, d'après les Rapports présentés (Annexes T 10, 11, 12, 13, 14, 15, p. T 84), que l'accord sera unanime en faveur du point de congélation du zinc, préférable au point d'ébullition du soufre. La température thermodynamique du point du zinc a été mesurée à la P. T. B., et trouvée supérieure de 0,06 degré à celle que fournit l'Échelle Internationale actuelle.

(1) Des observations sur la stabilité de thermomètres à résistance portés à 1100° C sont également en cours au C.I.I.W.M. (Annexe T 9, p. T 83).

MM. HALL et Van DIJK remarquent qu'il serait prématuré de changer l'Échelle Internationale pour la rapprocher de l'échelle thermodynamique; on désire seulement, pour le moment, améliorer la reproductibilité de l'Échelle Internationale par la substitution du point du zinc à celui du soufre pour la détermination des constantes de la formule d'interpolation du thermomètre à résistance. Les valeurs assignées aux points fixes seront modifiées plus tard, lorsque des résultats concordants seront acquis aux points du zinc et de l'or.

Les Instituts de Métrologie de l'U. R. S. S. considèrent à ce sujet qu'il serait utile non seulement d'introduire le point du zinc au nombre des points fixes thermométriques en remplacement de celui du soufre, mais aussi d'effectuer prochainement, dans les Laboratoires métrologiques, des mesures au thermomètre à gaz de la température de congélation du zinc et de l'or. Les résultats de ces mesures pourraient être présentés à la Onzième Conférence Générale des Poids et Mesures en 1960.

Mr le PRÉSIDENT conclut qu'il faudra spécifier nettement que l'introduction du point du zinc dans l'Échelle Internationale ne change pas cette Échelle, et qu'après la révision dont nous avons à nous occuper à cette session (*voir* p. T 18), le Comité Consultatif présentera un deuxième texte de l'Échelle 1948, mais non une nouvelle Échelle. Il reste donc à discuter sous quelle forme le point du zinc doit être introduit dans ce deuxième texte pour qu'aucun doute ne soit suscité sur la permanence de l'Échelle.

La séance est levée à 12^h30^m.

PROCÈS-VERBAL

DE LA DEUXIÈME SÉANCE

TENUE AU BUREAU INTERNATIONAL

Vendredi 20 juin 1958

PRÉSIDENCE DE Mr J. DE BOER

La séance est ouverte à 14^h40^m.

Sont présents : MM. DE BOER, BOZZA, VAN DIJK, HALL, MOSER, PRESTON-THOMAS, STIMSON, TCHERNICHEV, TIMMERMANS, TOMONAGA, VOLET, Membres du Comité Consultatif.

Assistent à la séance : M^{mes} BATARCHOUKOVA, ORLOVA, MM. BARBER, BRICKWEDDE, DEBURE, HIRAYAMA, KEMP, KOSTKOWSKI, RICHTER, TERRIEN, invités;

MM. A. BONHOURE, MOREAU, LECLERC, J. BONHOURE, GIRARD, du Bureau International.

Excusé : Mr BOUTRY.

Pyrométrie optique.

Mr RICHTER présente un travail de H. Wagenbreth (Annexe T 16, p. T 123) sur les corrections dues à l'ouverture d'un corps noir.

Mr KOSTKOWSKI commente les résultats de la comparaison de deux lampes à ruban de tungstène au pyromètre visuel dans plusieurs Laboratoires nationaux (Annexe T 17, p. T 133); la stabilité des lampes et l'accord entre les Laboratoires sont conformes aux prévisions; les écarts-types des résultats moyens ne dépassent pas 1,2 deg entre 800 et 1400° C (lampe à vide)

et 2,9 deg entre 1270 et 2220° C (lampe à gaz). Une précision meilleure serait possible, soit par l'emploi de récepteurs physiques, soit encore par l'étude de l'efficacité lumineuse V_λ des radiations monochromatiques pour chaque observateur; on pourrait ainsi doubler la précision; un appareil pour la mesure de V_λ est prêt au N. B. S.

Mr TCHERNICHEV mentionne les études de pyrométrie optique objective et subjective effectuées en U. R. S. S. (Annexes T 18 et 19, p. T 142), et exprime le désir de l'Institut de Métrologie D. I. Mendéléév de participer à des comparaisons internationales d'étalons pyrométriques, pour lesquelles ce laboratoire peut fournir des lampes.

Mr TOMONAGA exprime aussi le vœu que le Japon soit admis dans de telles comparaisons.

Mr HALL rappelle que le N. P. L. a fait des mesures très soignées sur un second groupe de lampes étalons pyrométriques qui sont actuellement en Australie (voir à ce sujet *Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 24, 1954, p. T 177).

Mr KEMP déclare que ces lampes sont disponibles et qu'il peut les faire parvenir à un autre laboratoire.

Mr HALL propose le circuit suivant : Sydney, Tokyo, Leningrad, Braunschweig ⁽¹⁾; Mr Tingwaldt pourrait alors, au moyen des étalons de la P. T. B., raccorder ce deuxième groupe de lampes au groupe dont Mr Kostkowski a parlé.

Mr le PRÉSIDENT prie Mr Hall, au nom du Comité Consultatif, de surveiller la circulation de ce second groupe de lampes et de centraliser les résultats des comparaisons.

Échelle du thermomètre à tension de vapeur de l'hélium.

Mr BRICKWEDDE expose que le meilleur instrument de repérage des températures entre 5 et 10° K est le thermomètre à tension

(¹) Note ajoutée aux épreuves : Le Laboratoire japonais ne pouvant entreprendre les comparaisons avant plusieurs mois, le circuit a été modifié comme suit : les lampes ont été envoyées de Sydney à Teddington, où elles feront l'objet de quelques mesures de contrôle au N.P.L.; elles seraient ensuite transmises à l'I.M., à la P.T.B. et au C.I.I.W.M.

de vapeur de l'hélium. Après 1948, une table donnant la relation entre la température et la tension de vapeur a été utilisée avec l'approbation de l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée, mais sans avoir été sanctionnée par le Comité International, qui s'est contenté de la publier dans les Annexes de ses Procès-Verbaux (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 23-B, 1952, p. T 151). A la suite de travaux poussés activement de divers côtés en 1954, deux autres tables ont été proposées : L 55 par H. Van Dijk (Annexe T 20, p. T 165), 55 E par J. R. Clement (Annexe T 21, p. T 177); ces tables diffèrent de quantités petites, voisines des incertitudes expérimentales.

MM. H. Van Dijk, M. Durieux, J. R. Clement et J. K. Logan viennent de proposer une troisième table voisine des précédentes, mais qui est mieux qu'une moyenne parce que a . la dérivée seconde $\frac{d}{dT} \frac{d \ln p}{d(1/T)}$ de la tension de vapeur de l'hélium est mieux continue et plus régulière dans cette nouvelle table (Échelle T₅₈) que dans les tables L 55 et 55 E, et b . cette nouvelle table est en accord avec les mesures de tension de vapeur effectuées à l'aide de thermomètres magnétiques étalonnés au point λ (2,172° K), au point d'ébullition normal de l'hélium (4,215° K) et au point d'ébullition normal de l'hydrogène normal (20,38° K). Les physiciens intéressés sont prêts à accepter l'échelle définie par cette table, et il est vivement désirable que le Comité Consultatif lui accorde sa recommandation et la propose au Comité International, comme l'ont demandé C. J. Gorter et F. G. Brickwedde dans une lettre adressée au Président de notre Comité Consultatif (Annexe T 22, p. T 188).

Mr Van DIJK fait remarquer que la température du point d'ébullition de l'hélium dans cette table est égale à la température qu'il a admise comme la plus probable (Annexe T 5, p. T 61).

Mr HALL ayant demandé l'utilité de six chiffres significatifs dans la table, Mr Van DIJK explique que les dérivées sont ainsi calculables plus facilement que si les quatre chiffres véritablement utiles avaient seuls été conservés.

Mr BRICKWEDDE précise que le nombre de chiffres dans la table proposée n'a aucun rapport avec la précision qui, dans une mesure de température, dépend avant tout des difficultés rencontrées pour assurer l'équilibre thermique entre l'enceinte

et le thermomètre; cette table est la définition d'une échelle, et elle comporte les chiffres utiles pour l'utilisation pratique de cette définition.

Mr le PRÉSIDENT conclut qu'une note devrait être ajoutée à la table pour indiquer que les six ou sept chiffres figurés sont donnés pour faciliter l'interpolation et la dérivation, et propose au Comité Consultatif d'adopter la recommandation suivante, qui est approuvée à l'unanimité :

RECOMMANDATION.

« *Le Comité Consultatif de Thermométrie,*
« *ayant reconnu la nécessité d'établir dans le domaine des très basses températures une échelle de température unique,*
« *ayant constaté l'accord général des spécialistes dans ce domaine de la physique,*
« *recommande pour l'usage général l'« Échelle ⁴He 1958 », basée sur la tension de vapeur de l'hélium, comme définie par la table annexée (p. T 192).*
« *Les valeurs des températures dans cette échelle sont désignées par le symbole T₈₈.* »

Désignation de l'Échelle Internationale de Température.

Mr le PRÉSIDENT expose la difficulté qui se présente depuis que le Comité International a décidé en 1956 de donner le nom de *Système International d'Unités* au système fondé sur les six unités de base : m, kg, s, A, °K, cd; le qualificatif « international » appliqué à l'Échelle Internationale de Température risque de faire croire qu'elle fait partie du S. I. U., et que les températures déterminées dans cette échelle sont les températures vraies. Un changement de dénomination n'est pas agréable, mais semble nécessaire. On pourrait, par exemple, l'appeler « Échelle 1948 ».

Mr HALL rappelle que depuis 1927 il a fallu de nombreuses publications explicatives pour faire comprendre aux utilisateurs ce qu'était l'Échelle Internationale, qui est maintenant bien connue sous ce nom donné par le Comité International lui-même.

Mr STIMSON propose que l'on attende, pour changer le nom de l'Échelle Internationale, que l'on révisé l'Échelle elle-même, comme il est prévu de le faire pour la rapprocher de l'échelle

thermodynamique, car il faut éviter de donner deux noms différents à une même chose.

Mr le PRÉSIDENT se déclare d'accord pour que l'on suggère au Comité International de prendre cette question en considération.

**Révision du texte
de l'Échelle Internationale de Température.**

Le National Bureau of Standards avait été chargé par le Comité Consultatif en 1954 de mettre en harmonie l'Introduction de l'Échelle Internationale de Température et la nouvelle définition de l'échelle thermodynamique à un point fixe. Mr le PRÉSIDENT remercie Mr Stimson pour la préparation d'un projet de texte révisé (Annexe T 23, p. T 194) qui sera la base des discussions, et qui a déjà suscité de nombreuses remarques exprimées dans les documents distribués aux Membres du Comité Consultatif (*). Il ne croit pas possible d'achever, au cours de cette session, l'établissement d'un texte à soumettre au Comité International; ce texte sera rédigé après la session, compte tenu du résultat des discussions, puis soumis à l'approbation par correspondance afin qu'il soit prêt un an avant la Conférence Générale de 1960.

Mr le PRÉSIDENT demande d'abord si le Comité approuve la proposition de l'U. R. S. S. de supprimer le chapitre I « Introduction », qui contient des renseignements historiques et qui n'a aucun rapport direct avec la reproductibilité de l'Échelle. Mr TCHERNICHEV précise que cette proposition porte plus sur la longueur de l'Introduction que sur les indications qu'elle renferme.

Mr le PRÉSIDENT ainsi que MM. Van DIJK et HALL sont du même avis; ces renseignements, qui étaient justifiés en 1927, ne présentent plus maintenant le même intérêt. Mr MOSER voudrait conserver la mention que l'on s'efforce de faire coïncider au mieux l'Échelle Internationale de Température et l'échelle thermodynamique. Mr STIMSON exprime une opinion analogue. Mr HALL observe à ce sujet que le chapitre IV « Ren-

(*) Le Comité Consultatif a jugé inutile de publier ces documents dans les Annexes; leur substance se trouve dans les procès-verbaux des présentes séances.

seignements complémentaires » contient des indications sur les écarts entre ces deux échelles.

Mr Bozza propose la forme abrégée suivante :

« L'échelle de température thermodynamique Kelvin, dans laquelle les températures sont désignées par °K et représentées par le symbole T , est reconnue comme l'échelle thermodynamique fondamentale à laquelle toute mesure de température doit pouvoir être finalement rapportée. La grandeur du degré Kelvin a été définie par l'adoption de la valeur 273,16 exactement pour le point triple de l'eau (Dixième Conférence Générale des Poids et Mesures, 1954).

« Les difficultés expérimentales inhérentes aux mesures de température dans l'échelle thermodynamique ont rendu désirable l'adoption d'une échelle pratique, l'Échelle Internationale de Température de 1927, révisée en 1948, aisément et exactement reproductible, et qui s'accorde aussi étroitement que possible avec l'échelle thermodynamique. »

Le Comité Consultatif estime qu'une Introduction de ce genre serait suffisante.

Mr le PRÉSIDENT considère ensuite le tableau de désignation et de définition des échelles avec leurs symboles, approuvé par le Comité International (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 24, 1954, p. 82). Un tel tableau ne figurait pas dans le texte de l'Échelle Internationale de Température de 1948; son introduction est proposée dans le projet actuellement en discussion. Mr le PRÉSIDENT hésiterait à l'inclure dans le texte de l'Échelle Internationale de Température car on ne pourrait plus le changer après son acceptation par la Conférence Générale; or ce tableau semble déjà périmé, à la suite des projets en discussion à l'I. S. O./T. C. 12 : le symbole T convient parfaitement à la température thermodynamique Kelvin, mais les principales organisations internationales préfèrent le symbole t pour la température thermodynamique Celsius, plutôt que de l'attribuer à la température internationale Celsius. Les températures de l'Échelle Internationale auraient pour symboles t_{int} et T_{int} .

De plus, poursuit Mr le PRÉSIDENT, on devrait faire apparaître nettement si les égalités qui figurent dans ce tableau sont des équations aux grandeurs ou des équations aux valeurs numériques; la présentation actuelle n'est pas claire à ce point de vue. Une confusion analogue existe dans plusieurs équations du texte de l'Échelle Internationale de Température. Mr le

PRÉSIDENT propose que l'on adopte le plus possible des équations aux grandeurs, quitte à accepter quelques exceptions si elles apportent une grande simplification, mais en le spécifiant expressément.

Mr Van DIJK préférerait des équations aux valeurs numériques; d'autre part, il n'approuve pas le qualificatif « usuelle » (customary) proposé par l'I. S. O. pour l'échelle thermodynamique Celsius.

Mr le PRÉSIDENT et Mr VOLET, devant les divergences d'opinions, estiment plus prudent de ne pas introduire le tableau de nomenclature.

MM. MOSER et STIMSON regretteraient que ce tableau, qui est utile, n'y figure pas.

M. HALL ne voit aucune liaison directe entre ce tableau et la définition de l'Échelle. Il propose donc que le tableau soit reporté au chapitre IV « Renseignements complémentaires ».

Cette dernière proposition est adoptée.

On convient encore que les auteurs de la rédaction initiale de l'Échelle Internationale de Température ont écrit les équations en ayant dans l'esprit de choisir des équations aux grandeurs, et qu'il est préférable de s'en tenir à cette forme de rédaction.

Mr le PRÉSIDENT met en discussion les deux premiers alinéas du chapitre II du projet de texte de l'Échelle. On s'accorde sur des modifications, et ces deux alinéas sont approuvés sous la forme suivante :

« Les températures dans l'Échelle Internationale de Température de 1948 sont exprimées en degrés Celsius, désignées par °C ou °C (Int. 1948) et représentées ici par le symbole t .

« L'Échelle Internationale de Température est fondée sur six températures reproductibles (points fixes de définition) auxquelles sont assignées des valeurs numériques, et sur des formules spécifiées établissant la relation entre la température et les indications des instruments étalonnés au moyen des valeurs assignées aux points fixes de définition. Ces points fixes sont définis.... »

La séance est levée à 18^h30^m.

PROCÈS-VERBAL

DE LA TROISIÈME SÉANCE,

TENUE AU BUREAU INTERNATIONAL

Samedi 21 juin 1958

PRÉSIDENCE DE Mr J. DE BOER

La séance est ouverte à 9^h55^m.

Sont présents : MM. DE BOER, BOZZA, Van DIJK, HALL, MOSER, PRESTON-THOMAS, STIMSON, TCHERNICHEV, TIMMERMANS, TOMONAGA, VOLET, Membres du Comité Consultatif.

Assistent à la séance : M^{mes} BATARCHOUKOVA, ORLOVA, MM. BARBER, BRICKWEDDE, DEBURE, HIRAYAMA, KEMP, KOSTKOWSKI, RICHTER, TERRIEN, invités;

MM. A. BONHOURE, MOREAU, LECLERC, J. BONHOURE, GIRARD, du Bureau International.

Excusé : Mr BOUTRY.

Révision du texte de l'Échelle Internationale de Température (suite).

Mr le PRÉSIDENT reprend la discussion sur le projet de révision de l'Échelle au tableau I du chapitre II « Définition de l'Échelle ». On s'accorde pour donner à ce tableau le titre suivant : « Valeurs exactes assignées aux points fixes de définition, sous la pression de 1 atmosphère normale, sauf pour le point triple », afin qu'il soit clair que ces valeurs ont le caractère conventionnel d'une définition et que, par conséquent, le nombre des chiffres significatifs inscrits n'a aucun rapport avec l'exactitude des températures dans l'échelle thermodynamique.

La spécification que l'eau du point triple doit être « normale » (en composition isotopique) a été supprimée, sa signification n'étant pas assez explicite; toutes les eaux naturelles paraissent d'ailleurs convenir à la précision actuelle. La mention « point fixe fondamental » (de l'échelle thermodynamique) a été supprimée.

Immédiatement après le tableau I, la phrase du texte de 1948 « Les procédés d'interpolation conduisent à un partage de l'Échelle... » a été rétablie afin que les raisons de ce partage soient expliquées; au début du paragraphe *a* on ajoute, après 630,5° C, la parenthèse : (point de congélation de l'antimoine); la première phrase de ce paragraphe *a* a été allégée par la suppression des mots suivants : « entre les points de bifurcation... conducteur de potentiel », détails expérimentaux superflus dans une définition générale.

Le critère de limite de pureté du platine par le rapport R_{100}/R_0 a été ramené à 1,392 0 (au lieu de 1,392 2).

Mr le PRÉSIDENT remarque qu'il faut alors introduire le point de congélation du zinc, et demande au préalable quelle température il faut assigner à ce point dans l'Échelle Internationale 1948.

Mr BARBER attire l'attention sur la petite correction de température, due à la pression du métal fondu, qu'il faut appliquer à plusieurs résultats communiqués; le résultat du N. P. L., à la pression atmosphérique normale, est 419,505₅ °C.

Mr le PRÉSIDENT constate que la moyenne des résultats obtenus au Canada, aux États-Unis, au Royaume-Uni, et en U. R. S. S., ramenés éventuellement à la pression normale, est 419,504 7, et propose 419,505° C (Int. 1948) pour le point du zinc. Cette valeur est adoptée.

Mr BOZZA estime qu'on ne peut pas introduire ce point du zinc dans le tableau I au même titre que les autres points (de l'eau, du soufre, etc.), car ceux-ci sont des points de coïncidence entre l'échelle thermodynamique et l'Échelle Internationale; au contraire, la valeur pour le point du zinc est interpolée dans l'Échelle Internationale entre les points fixes de définition de l'eau et du soufre.

Mr TIMMERMANS renouvelle ses critiques contre le point

d'ébullition du soufre, qui est mal défini; il désirerait faire disparaître le point du soufre du tableau des points fixes de définition, en lui substituant le point du zinc.

Mr HALL remarque que le point du zinc pourrait occuper une position analogue à celle qu'occupe actuellement le point triple de l'eau; ce serait un point préféré pour réaliser l'Échelle, bien qu'il ne figurerait pas parmi les points fixes de définition.

Mr MOSER n'est pas d'accord, car la température thermodynamique du point triple de l'eau est parfaitement connue, tandis que celle du point du zinc nécessite des mesures délicates; il préfère maintenir le point du soufre, et ajouter dans le paragraphe *a* le point du zinc, dont la valeur devra être changée ultérieurement.

Pour Mr BOZZA, la substitution du zinc au soufre comme point de définition serait un changement révolutionnaire.

Mr le PRÉSIDENT propose finalement de maintenir le point du soufre, et d'ajouter au paragraphe *a* le texte suivant, qui est adopté :

« Au lieu du point d'ébullition du soufre, il est recommandable d'utiliser le point d'équilibre entre le zinc solide et le zinc liquide (point de congélation du zinc) en lui attribuant la température $419,505^{\circ}\text{C}$ (Int. 1948). Ce point est mieux reproductible que celui du soufre et la valeur qui lui a été attribuée a été choisie de façon qu'elle conduise au même résultat dans la détermination des constantes R_0 , A et B. »

Au paragraphe *c*, après une discussion provoquée par le désir du C. I. I. W. M. (Japon) et de l'I. M. (U. R. S. S.) de préciser que $630,5^{\circ}\text{C}$ est le point de congélation de l'antimoine, point que Mr TIMMERMANS affirme être fort mal défini, la dernière phrase du premier alinéa « La température t à laquelle se fait l'étalonnage... » devient, selon la proposition de Mr BOZZA, qui est acceptée : « La valeur de la force électromotrice à $630,5^{\circ}\text{C}$ doit être déterminée en mesurant cette température avec un thermomètre à résistance ».

Mr le PRÉSIDENT fait adopter que les spécifications relatives au thermocouple achevé soient exprimées par des équations entre les valeurs numériques en microvolts.

Au paragraphe *d*, Mr le PRÉSIDENT propose d'écrire la for-

mule de Planck en fonction des grandeurs; ainsi, dans cette formule, $273,15$ serait remplacé par T_0 . De son côté, Mr HALL préfère la notation $\exp x$ à e^x qui devient incommode lorsque x est une fraction. Ces propositions sont acceptées.

Mr le PRÉSIDENT observe que la définition de la grandeur J dans le projet en discussion est incomplète parce qu'on n'y parle pas de l'angle solide. Il rappelle que, selon les définitions recommandées par la Commission Internationale de l'Éclairage, cette grandeur est la « densité spectrale de luminance énergétique »; cette désignation est acceptée par le Comité Consultatif.

Mr STIMSON précise, en réponse à une demande de Mr VOLET, qu'il a intentionnellement supprimé la condition, imposée autrefois, que λ soit une longueur d'onde du spectre visible.

Mr le PRÉSIDENT met en discussion le chapitre III « Recommandations » du projet.

Au paragraphe III.1, deux petites modifications demandées par Mr HALL sont acceptées.

Au sujet du recuit des thermocouples (III.2), en présence des nouvelles études effectuées ⁽¹⁾ et de la remarque de Mr MOSER,

(1) Une Note sur cette question a été présentée par l'Electrotechnical Laboratory (Annexe T 24, p. T 211).

De son côté, l'Institut de Métrologie a indiqué, dans ses commentaires au projet de révision du texte de l'Échelle Internationale de Température, la méthode qu'il a adoptée depuis cinq années :

« On a proposé dans ce projet (Annexe T 23, p. T 202, § 2) de soumettre les fils du thermocouple à un recuit pendant une heure à environ 1450°C . Un tel régime de recuit ne s'est pas justifié dans la pratique. Un fil de platine de grande pureté devient très actif à 1450°C et il y a toujours le danger de le contaminer par la poussière. On pourrait proposer une autre méthode de recuit des thermocouples, telle que la méthode plus sûre qu'emploie avec succès l'Institut de Métrologie. Les fils du thermocouple étalon sont recuits séparément : le fil de platine est recuit par effet Joule pendant quatre heures à 1100°C , le fil de platine rhodié pendant deux heures à 1400°C ; le thermocouple est ensuite soudé et muni d'une isolation correspondante. Pour éviter les contraintes mécaniques qui apparaissent lors du montage, le thermocouple est placé dans un long four tubulaire à une température uniforme et constante de 1100°C , à une profondeur telle que la région d'uniformité de la température embrasse une partie plus grande du thermocouple que celle qui se trouve chauffée lors de l'emploi du thermocouple. On maintient le thermocouple dans le four jusqu'à ce que sa force électromotrice soit stabilisée; ce traitement dure ordinairement 3 à 4 heures. »

selon laquelle un nouveau recuit à 1100° C est utile après le montage pour éliminer l'effet des contraintes inévitables, Mr le PRÉSIDENT prie Mr Hall de préparer des recommandations en accord avec les Laboratoires.

A propos de l'atmosphère normale (III.3), Mr VOLET rappelle que la connaissance de l'accélération due à la pesanteur (g) est nécessaire pour toute mesure pratique de pression en un lieu donné et que, par convention, g doit être mesuré dans le système de Potsdam. Or les valeurs exprimées dans ce système, adopté depuis plus de 50 ans, seront sans doute prochainement modifiées de 13 milligals environ, ce qui aurait pour effet de changer la pression réelle exprimée par le même nombre de newtons par mètre carré. Si l'on veut alors que l'atmosphère normale désigne toujours la même pression physique réelle, il faudra changer la définition de l'atmosphère normale. En prévision de cette éventualité, Mr VOLET engage les Membres du Comité Consultatif à réfléchir à cette question.

Mr STIMSON préférerait ne pas voir changer la définition de l'atmosphère normale; le changement envisagé des valeurs de g se traduirait par 4.10^{-4} deg sur le point d'ébullition de l'eau, ce qui est de peu d'importance actuellement.

Mr HALL pense qu'un changement serait plus acceptable si les baromètres étaient gradués en millibars, plutôt qu'en millimètres de mercure.

Au paragraphe III.4. a, Mr HALL propose, avec l'assentiment du Comité Consultatif, un petit changement de rédaction au premier alinéa, et la suppression du deuxième alinéa. Il demande également, au paragraphe III.7, la suppression du membre de phrase relatif au soufre de la région du Golfe du Mexique.

Une discussion est provoquée par Mr TIMMERMANS, qui attire l'attention sur la contamination de l'eau d'un point triple par dissolution du verre de l'ampoule; la stabilité de la température obtenue ne prouve rien sur la pureté de l'eau s'il y a saturation; on sait depuis vingt ans que les ampoules doivent être faites en quartz et non en verre.

Mr PRESTON-THOMAS indique que les ampoules utilisées au N. R. C. pour l'étude de la stabilité de la réalisation du point triple étaient en pyrex (voir Annexe T 15, p. T 116).

D'après Mr BOZZA, le pyrex est plus soluble dans l'eau que le verre d'Iéna.

Mr BARBER rappelle qu'au N. P. L., comme au N. R. C. et sans doute ailleurs aussi, le pyrex est lavé longuement à la vapeur d'eau; aucun changement de la température n'est observable quatre ans après le remplissage d'une ampoule à point triple. D'ailleurs, la technique de congélation à chaque emploi élimine l'effet des impuretés.

Mr le PRÉSIDENT demande si le Comité Consultatif peut répondre à la proposition du C. I. I. W. M., qui désire que soient ajoutés au paragraphe III.8 des critères de pureté pour les métaux (Ag et Au).

Mr KOSTKOWSKI, consulté, ne peut que répéter la réponse qu'il avait donnée à Mr Stimson, selon laquelle la rédaction actuelle est ce que l'on peut faire de mieux pour le moment.

Un échange de vues a lieu entre Mr HALL et Mr MOSER sur la contamination possible de l'argent par la silice; on observe que la silice se colore au contact de l'argent en fusion, mais Mr MOSER n'a décelé aucun changement du point de congélation, à 0,05 degré près, lorsqu'il a remplacé par de l'argent frais de l'argent qui était resté 24 heures en contact avec le réservoir en silice d'un thermomètre à gaz.

Mr le PRÉSIDENT engage la discussion sur le tableau II (chapitre IV, Renseignements supplémentaires). Dans le titre de ce tableau, on remplace « Points fixes secondaires... » par « Repères secondaires... ».

Mr TIMMERMANS propose de supprimer le point de l'antimoine (630,5° C) qui n'est pas reproductible, ce qui est accepté.

Il critique vivement l'expression « point de solidification » qui est incorrecte pour un physicochimiste: un verre se solidifie à une température qui ne peut être située qu'avec une incertitude considérable, 25 degrés par exemple. On devrait dire « point de congélation », ou mieux encore « point de cristallisation ».

Mr MOSER n'aime guère l'expression « point de cristallisation », qui n'est pas usuelle (on dit « Erstarrungspunkt » en allemand et « freezing point » en anglais).

Mr le PRÉSIDENT propose « point de fusion », qui serait accepté par Mr TIMMERMANS, mais non par les physiciens thermométristes. Sur la proposition de MM. HALL et VOLET, on conclut en faveur de « température d'équilibre entre solide et liquide » ou « entre liquide et vapeur » pour figurer au tableau II en discussion.

Mr TIMMERMANS remarque qu'à cause de la solubilité des gaz, la température des points de congélation ne peut pas être définie à 0,001 degré près si l'on ne spécifie pas la composition de l'atmosphère où est placé le métal; il propose, en conséquence, de ne jamais indiquer plus de deux décimales (sauf pour le zinc) pour les températures des repères secondaires du tableau II, ce qui est accepté.

Le point de congélation de l'eau, 0,000 1° C dans le projet, est remplacé par 0,000° C, selon la proposition du C. I. I. W. M.

Mr TIMMERMANS recommande que le tableau II soit complété par au moins un repère vers — 120° C; on connaît un certain nombre de repères entre — 78 et — 180° C, mais il faudrait que leur valeur soit confirmée par des mesures faites dans des laboratoires différents.

Tous les Membres du Comité Consultatif sont d'accord sur l'utilité de cette recommandation.

Mr le PRÉSIDENT met en discussion le paragraphe IV.3 (Relation entre l'Échelle Internationale de Température et l'Échelle thermodynamique), mais Mr HALL fait remarquer que dans les deux ans à venir de nouveaux et importants résultats de mesures au thermomètre à gaz seront sans doute acquis; il paraît donc préférable de remettre à plus tard l'examen de ce paragraphe.

Mr le PRÉSIDENT rappelle enfin que le Comité Consultatif a préféré insérer le tableau de désignation des températures dans ce chapitre IV. Il propose de donner à ce tableau la forme suivante (p. T28), qui tient compte d'une partie des propositions de l'I. S. O. et évite le mélange des valeurs numériques et des grandeurs.

En conclusion de ces échanges de vues sur une nouvelle édition de l'Échelle Internationale de Température de 1948, Mr le PRÉSIDENT annonce qu'un second projet, révisé conformément aux désirs exprimés au cours de la discussion, sera établi

par les soins du Bureau International et en liaison avec le Président du Comité Consultatif, et envoyé à tous les Membres. Il espère qu'il sera possible ensuite de se mettre d'accord par correspondance, et d'éviter une nouvelle session du Comité Consultatif à une date aussi rapprochée que la fin de 1959.

ÉCHELLE INTERNATIONALE.

Température internationale t_{int} indication : °C (Int. 1948) degré Celsius international 1948	→	Température internationale Kelvin $T_{\text{int}} = t_{\text{int}} + T_0$ indication : °K (Int. 1948) degré Kelvin international 1948
--	---	---

ÉCHELLE THERMODYNAMIQUE.

Température thermodynamique Celsius $t = T - T_0$ indication : °C (therm.) degré Celsius thermodynamique	←	Température thermodynamique T indication : °K degré Kelvin
--	---	--

($T_0 = 273,15$)

Le Comité Consultatif examine enfin la liste des documents communiqués à cette cinquième session, et dresse la liste de ceux qui devront être publiés en annexes aux procès-verbaux des séances.

Mr TIMMERMANS, au nom de tous ses Collègues, remercie le Président pour la patience et l'efficacité avec lesquelles il a dirigé les débats. Il remercie également tous ceux qui ont contribué par leur travail à rendre fructueuse cette cinquième session du Comité Consultatif de Thermométrie.

La séance est levée à 13^h30^m.



CINQUIÈME RAPPORT
DU
COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE

AU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Par J. A. HALL, Rapporteur

Le Comité Consultatif a tenu trois séances, le vendredi 20 et le samedi 21 juin 1958 au Bureau International des Poids et Mesures à Sèvres.

Étaient présents : Mr DE BOER, Président; MM. BOZZA, Van DIJK, HALL, MOSER, PRESTON-THOMAS, STIMSON, TCHERNICHEV, TIMMERMANS, TOMONAGA, VOLET, Membres du Comité Consultatif; M^{mes} BATARCHOUKOVA, ORLOVA, MM. BARBER, BRICKWEDDE, DEBURE, HIRAYAMA, KEMP, KOSTKOWSKI, RICHTER, TERRIEN, invités.

Mr Hall fut nommé Rapporteur et Mr Terrien Secrétaire.

INTERCOMPARAISON
DE THERMOMÈTRES A RÉSISTANCE.

Les résultats de la comparaison internationale de trois thermomètres à résistance de platine ont été présentés au Comité. On a noté que la résistance à 0° C des thermomètres avait augmenté d'une quantité équivalant à environ 0,007 deg pendant ces comparaisons, qui se sont étendues sur une période de cinq années, et que le rapport R_{100}/R_0 avait diminué d'une quantité équivalant à environ 0,002 deg sur l'intervalle 0-100° C. On peut affirmer que les dix Laboratoires participants ont obtenu la même valeur pour cet intervalle à $\pm 0,001$ degré près.

EXTENSION DE L'ÉCHELLE DU THERMOMÈTRE
A RÉSISTANCE AU-DESSOUS DE — 182,97° C.

Des Rapports du Kamerlingh Onnes Laboratorium et du National Physical Laboratory ont été étudiés, et il a été reconnu qu'en utilisant une table de la fonction $Z = (R_t - R_{11,2}) / (R_{0,2} - R_{11,2})$, il est possible de reproduire une échelle de température avec une approximation de 0,01 ou 0,02 degré au moyen d'un thermomètre à résistance de platine étalonné aux points d'ébullition de l'oxygène et de l'hydrogène. Si l'on emploie un troisième point fixe de température intermédiaire, par exemple le point triple de l'oxygène, il devient possible d'améliorer la reproductibilité jusqu'à une approximation de 0,002 ou 0,003 degré.

Il a été convenu d'organiser une intercomparaison de thermomètres entre les Laboratoires spécialisés dans ce domaine de température, d'effectuer de nouvelles mesures au thermomètre à gaz au point triple de l'oxygène, et de mettre au point un projet d'extension de l'Échelle Internationale de Température entre les points d'ébullition de O_2 et H_2 .

Pour ce travail, il a été admis que tous les Laboratoires devraient utiliser la valeur 20,38° K pour le point d'ébullition de l'hydrogène normal.

TEMPÉRATURE THERMODYNAMIQUE
DES POINTS FIXES.

Les résultats obtenus par J. Oishi et M. Awano (Japon) d'une part, et par H. Moser, J. Otto et W. Thomas (Allemagne) d'autre part, pour les points de congélation de l'or et de l'argent ont été discutés; il a été reconnu, étant donné le désaccord d'environ 1 degré entre ces deux résultats, que de nouveaux travaux étaient nécessaires sur la température thermodynamique des points fixes de l'Échelle Internationale. Dans la méthode employée en Allemagne, le réservoir du thermomètre à gaz était immergé directement dans le métal en fusion; ce n'était pas le cas des mesures japonaises, qui ont été effectuées en plaçant le réservoir du thermomètre à gaz dans un four avec des thermocouples étalonnés au point de congélation de l'or et de l'argent. J. Oishi a communiqué qu'il préparait une nouvelle mesure par la méthode à température du réservoir constante.

On a appris que le travail de l'Institut de Métrologie de Leningrad, dans lequel le thermomètre à gaz doit être comparé à des thermocouples dans un bain d'étain fondu agité, serait achevé au cours de 1959. Ce travail serait complété par des mesures avec le réservoir immergé directement dans l'argent ou l'or en fusion, comme cela a été fait en Allemagne.

Le Deutsches Amt für Mass und Gewicht a l'intention d'effectuer des mesures avec un thermomètre à volume constant, le réservoir étant, soit dans l'air d'un four à température uniforme, soit immergé dans le métal en fusion.

Le National Bureau of Standards va effectuer des mesures avec un réservoir d'une capacité de 500 cm³ dans une enceinte à température uniforme comportant plusieurs enveloppes concentriques de cuivre, mais cet équipement ne conviendrait pas pour des températures aussi élevées que le point de l'or.

POINT DE CONGÉLATION DU ZINC.

Des valeurs pour le point de congélation du zinc dans l'Échelle Internationale de Température de 1948 ont été communiquées par le N. R. C. (Canada), le N. P. L. (Royaume-Uni) et l'I. M. (U. R. S. S.). Le N. R. C. a également communiqué d'autres valeurs en relation avec l'échelle du National Bureau of Standards. Ces résultats s'échelonnent entre 419,504 0 et 419,505 5° C sous la pression atmosphérique normale, la moyenne étant 419,504 7° C.

On est tombé d'accord que le point de congélation du zinc fournit un point fixe mieux reproductible que le point d'ébullition du soufre et il a été décidé d'adopter la valeur de 419,505° C (Int. 1948).

INTERCOMPARAISON DE LAMPES A RUBAN DE TUNGSTÈNE.

Les résultats de la comparaison au pyromètre visuel, dans plusieurs Laboratoires nationaux, de deux lampes à ruban de tungstène, l'une à vide, l'autre à gaz, ont été communiqués au Comité Consultatif; la lampe à vide a été étudiée entre 800 et 1400° C, la lampe à gaz entre 1270 et 2220° C. Ces lampes, de fabrication anglaise, avaient été soumises à un étalonnage courant au N. P. L., l'une en 1951, l'autre en 1947. Des études soignées faites au N. R. C., au N. B. S., à la P. T. B. et au D. A. M. G. ont présenté des écarts-types de 0,8 à 1,2 deg pour la lampe à vide et de 1,1 à 2,9 deg pour la lampe à atmosphère gazeuse. Les résultats initiaux du N. P. L. ont été inclus dans le calcul des écarts-types.

Il a été convenu que cette intercomparaison devrait être rattachée à celle qui avait déjà été entreprise sur l'initiative du N. P. L. avec deux lampes de chaque type. Les mesures effectuées au N. S. L. d'Australie sur ces dernières lampes sont achevées, et il a été décidé que ces lampes seraient envoyées de nouveau au N. P. L. pour contrôle, puis à l'I. M., à la P. T. B. et au C. I. I. W. M. (Japon).

THERMOMÉTRIE
AUX TRÈS BASSES TEMPÉRATURES.

Une lettre de MM. Gorter et Brickwedde a été reçue, proposant l'adoption d'une nouvelle échelle pour le thermomètre à tension de vapeur de l'hélium. Cette proposition a été adoptée dans les termes suivants

RECOMMANDATION.

*« Le Comité Consultatif de Thermométrie,
« ayant reconnu la nécessité d'établir dans le domaine des très basses températures une échelle de température unique,
« ayant constaté l'accord général des spécialistes dans ce domaine de la physique,
« recommande pour l'usage général l'« Échelle ⁴He 1958 », basée sur la tension de vapeur de l'hélium, comme définie par la table annexée (voir p. T 192).
« Les valeurs des températures dans cette échelle sont désignées par le symbole T₅₈ ».*

L'ÉCHELLE DU THERMOCOUPLE.

La P. T. B. a communiqué quelques résultats sur une comparaison du thermocouple étalon au thermomètre à gaz. En utilisant la formule d'interpolation spécifiée, des écarts atteignant environ 0,4 degré à 800° C ont été trouvés. Des formules plus compliquées ne montrent pas d'amélioration sensible. On a exprimé l'opinion qu'il serait désirable de remplacer le thermocouple par le thermomètre à résistance de platine en tant que procédé spécifié d'interpolation.

Des Rapports concernant les techniques de recuit des thermocouples étalons ont été communiqués par l'Institut de Métrologie (U. R. S. S.) et l'Electrotechnical Laboratory (Japon), et l'on a convenu d'étudier plus complètement cette question.

DÉSIGNATION DE L'ÉCHELLE INTERNATIONALE
DE TEMPÉRATURE.

Le Comité International des Poids et Mesures a décidé en 1956 de donner le nom de « Système International d'Unités » au système fondé sur les unités de base : mètre, kilogramme, seconde, ampère, degré Kelvin, candela. On a remarqué que cette dénomination pourrait conduire à des confusions car l'Échelle Internationale de Température ne fait pas partie du Système International d'Unités. Le Comité Consultatif a été d'avis qu'un

changement du nom de l'Échelle Internationale de Température, qui est maintenant bien établi après 31 ans d'usage, pourrait conduire à beaucoup de difficultés et de malentendus. On a convenu que le Comité International serait prié de reconsidérer la question en tenant compte de cette difficulté.

RÉVISION DU TEXTE DE
L'ÉCHELLE INTERNATIONALE DE TEMPÉRATURE DE 1948.

Un projet de révision du texte de l'Échelle Internationale de Température a été examiné. A part des points de détail, les décisions les plus importantes ont été les suivantes :

1° Abréger le chapitre « Introduction » par l'élimination des parties d'intérêt purement historique, qui ne sont plus nécessaires.

2° Remplacer le point de fusion de la glace par le point triple de l'eau en lui attribuant la température $+ 0,01^{\circ} \text{C}$ (Int. 1948).

3° Supprimer la distinction entre « points fixes fondamentaux » et « points fixes primaires », en adoptant la désignation unique « points fixes de définition ».

4° Unifier les équations qui figurent dans le texte, afin qu'elles soient toutes des équations aux grandeurs et non pas aux valeurs numériques.

5° Utiliser les symboles T et t pour désigner les températures thermodynamiques Kelvin et Celsius, et les symboles T_{int} et t_{int} pour désigner les températures internationales Kelvin et Celsius.

6° Maintenir le point d'ébullition du soufre comme point fixe de définition de l'Échelle, mais recommander l'emploi du point de congélation du zinc, avec la valeur $419,505^{\circ} \text{C}$ (Int. 1948), ce point permettant de réaliser la même Échelle d'une façon mieux reproductible.

(Teddington, 3 juillet 1958)

ANNEXE T 1

National Physical Laboratory (Royaume-Uni)

RÉSULTATS
DE LA COMPARAISON INTERNATIONALE
DES THERMOMÈTRES
A RÉSISTANCE DE PLATINE S 167, R 13 ET N° 109
DANS DIX LABORATOIRES
(MESURE DE L'INTERVALLE 0-100° C
DE L'ÉCHELLE INTERNATIONALE DE TEMPÉRATURE)

Par C. R. BARBER et J. A. HALL

(Traduction)

Dans le but de déterminer le degré de concordance dans la réalisation de l'intervalle fondamental de l'Échelle Internationale de Température aux divers Laboratoires nationaux, le Comité Consultatif de Thermométrie a suggéré en 1952 qu'un groupe voyageur de thermomètres à résistance de platine soit étalonné dans chaque Laboratoire au point de fusion de la glace et au point d'ébullition de l'eau.

Ce travail a commencé en 1952, avec les thermomètres R 10 construit au National Physical Laboratory et S 167 construit au National Bureau of Standards. Ces deux thermomètres ont été étalonnés au N. B. S. et au Massachusetts Institute of Technology en septembre 1952; le N. B. S. ayant trouvé R 10 instable, ce qui a été confirmé ensuite au N. P. L., ce thermomètre a été remplacé par un autre thermomètre de même type (R 13), construit au N. P. L. en même temps que R 10. Alors que R 13 et S 167 avaient déjà été étalonnés dans plusieurs Laboratoires, un troisième thermomètre (N° 109), fourni par l'Institut de Métrologie D. I. Mendéléev, a été introduit dans la comparaison; les premières mesures sur ce thermomètre ont été faites au N. P. L. en mars 1954.

Les noms des Laboratoires ayant participé à la comparaison, avec leur abréviation utilisée dans ce Rapport, sont les suivants :

National Bureau of Standards (N. B. S.), États-Unis d'Amérique.

Massachusetts Institute of Technology (M. I. T.), États-Unis d'Amérique.

National Physical Laboratory (N. P. L.), Royaume-Uni.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (P. T. B.), Allemagne.

Kamerlingh Onnes Laboratorium (K. O. L.), Pays-Bas.

Institut de Métrologie D. I. Mendéléev (I. M.), U. R. S. S.

Tokyo Institute of Technology (T. I. T.), Japon.

Central Inspection Institute of Weights and Measures (C. I. I. W. M.), Japon.

National Standards Laboratory (N. S. L.), Australie.

National Research Council (N. R. C.), Canada.

Les thermomètres, confiés en principe aux bons soins d'un membre de l'un des Laboratoires, ont été transportés d'un Laboratoire à l'autre par les moyens indiqués à la colonne 1 du tableau I. Durant les transports par bateau d'Australie en Angleterre et d'Angleterre au Canada, la caisse contenant les thermomètres a été suspendue de façon à éviter les chocs par mer agitée.

Les résultats de toutes les mesures sont rassemblés au tableau I; ces résultats ne concernent que les valeurs moyennes communiquées par chaque Laboratoire. Pour rendre les résultats comparables, il a été nécessaire d'apporter à quelques-uns d'entre eux de petites corrections, qui figurent sous les valeurs correspondantes. Ces corrections sont dues :

a. à l'écart entre l'ohm national et l'ohm B. I. P. M.;

b. au passage à la valeur de la gravité exprimée dans le système de Potsdam;

c. à l'extrapolation pour réduire les mesures à un courant nul.

Quelques indications sur les bases du calcul des corrections sont données aux colonnes 10, 11 et 12 du tableau I. On voit que seules la valeur α du K. O. L. et les valeurs R_0 et α du C. I. I. W. M. ont fait l'objet d'une correction de courant, le courant de mesure employé par ces deux Laboratoires étant de 1 mA; les corrections appliquées sont celles qui ont été obtenues au N. P. L. quand les thermomètres sont directement immergés dans la vapeur; elles sont en bon accord avec celles qui ont été indiquées par le N. R. C. pour un « puits humide ». En prenant les résultats donnés par le N. R. C. pour un « puits sec », les valeurs corrigées de α seraient plus basses d'une quantité équivalente à 3 ou 4. 10^{-4} deg pour 100 deg.

TABLEAU I

Résumé des valeurs de R_0 et α des thermomètres S 167, R 13 et N° 109
communiquées par les Laboratoires

Mode de transport entre les Laboratoires	Laboratoire	Date des mesures	S 167		R 13		N° 109		Notes		
			R_0 (Ω)	$\alpha \cdot 10^3$	R_0 (Ω)	$\alpha \cdot 10^3$	R_0 (Ω)	$\alpha \cdot 10^3$	$\Omega_{\text{nat}} - \Omega_{\text{BIPM}}$ ($\mu\Omega$)	g ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-2}$)	Courant de mesure (mA)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Route	N.B.S.	9/1952	25,478 720 (a) -8	3,924 487 (b) -11					- 0,3	980,082 2 093 7 S.P.	0
Mer et Fer	M.I.T.	9/1952	25,478 782	3,924 493					Inconnue	980,400 S.P.	0
Mer et Fer	N.P.L.	1/1953	25,479 057 (a) -76	3,924 514 (b) -14	28,638 642 (a) -86	3,924 942 (b) -14			- 3,0	981,183 2 196 3 S.P.	0
Fer	P.T.B.	10/1953	25,479 11 (a) +4	3,924 54	28,638 71 (a) +5	3,924 93			+ 1,7	981,262 263 S.P.	0
Mer et Fer	K.O.L.	1/1954	25,479 07 (a) -8	3,924 55 (c) +1	28,638 75 (a) -9	3,924 83 (c) +2			- 3,1 (Ω NPL)	981,275 S.P.	0 pour R_0 1 pour α
Mer et Fer	N.P.L.	3/1954	25,479 188 (a) -79	3,924 485 (b) -14	28,638 851 (a) -89	3,924 910 (b) -14	10,156 191 (a) -31	3,924 342 (b) -14	- 3,1	981,183 2 196 3 S.P.	0
	I.M.	5-11/1954	25,479 30 (a) +4	3,924 42	28,638 97 (a) +4	3,924 86	10,155 69 (a) +1	3,924 25	+ 1,4	981,931 S.P.	0
Air	N.P.L.	11/1954	25,479 360 (a) -82		28,639 156 (a) -92		10,155 793 (a) -33		- 3,2		0
Route	T.I.T.	2/1955	25,479 631 (a) -10	3,924 511	28,639 310 (a) -11	3,924 921	10,155 871 (a) -4	3,924 181	- 0,4	979,787 S.P.	0
Air	C.I.I.W.M.	5/1955	25,479 784 (c) -47 (a) -8	3,924 541 (c) +10	28,639 488 (c) -225 (a) -9	3,924 862 (c) +20	10,155 951 (c) -34 (a) -3	3,924 242 (c) +16	- 0,3	979,791 S.P.	1
Mer et Fer	N.S.L.	4/1956	25,479 683 (a) -84	3,924 546	28,639 251 (a) -95	3,924 949	10,155 827 (a) -34	3,924 220	- 3,3 (Ω NPL)	979,680 9 S.P.	0
Mer et Fer	N.P.L.	11/1956	25,479 685 (a) -87	3,924 494 (b) -14	28,639 273 (a) -97	3,924 886 (b) -14	10,155 819 (a) -35	3,924 220 (b) -14	- 3,4	981,183 2 196 3 S.P.	0
	N.R.C.	8-10/1957	25,479 690 (a) -132	3,924 424	28,639 273 (a) -149	3,924 842	10,155 861 (a) -53	3,924 136	- 5,2	S.P. (Valeur non communiquée)	0

(a) correction pour tenir compte de l'écart entre l'ohm national et l'ohm B.I.P.M.
(b) correction pour la valeur de g exprimée dans le système de Potsdam.
(c) correction pour l'extrapolation à un courant de mesure nul.
S.P. système de Potsdam.

Les valeurs finales corrigées de R_0 et α sont résumées au tableau II et sur les figures 1 à 3.

TABLEAU II.

Valeurs corrigées de R_0 et α , des thermomètres S 167, R 13 et N° 109.

Laboratoire.	Date.	S 167.		R 13.		N° 109.	
		$R_0(\Omega)$.	$\alpha \cdot 10^3$.	$R_0(\Omega)$.	$\alpha \cdot 10^3$.	$R_0(\Omega)$.	$\alpha \cdot 10^3$.
N.B.S.....	9/1952	25,478 71	3,924 48				
M.I.T.....	9/1952	8 78	49				
N.P.L.....	1/1953	8 98	50	28,638 56	3,924 93		
P.T.B.....	10/1953	9 15	54	8 76	93		
K.O.L.....	1/1954	8 99	56	8 66	85		
N.P.L.....	3/1954	9 11	47	8 76	90	10,156 16	3,924 33
I.M.....	8/1954	9 34	42	9 01	86	5 70	25
N.P.L.....	11/1954	9 28	-	9 06	-	5 76	-
T.I.T.....	2/1955	9 62	51	9 30	92	5 87	18
C.I.I.W.M.	5/1955	9 73	55	9 25	88	5 91	26
N.S.L.....	4/1956	9 60	55	9 16	95	5 79	22
N.P.L.....	11/1956	9 60	48	9 18	87	5 78	21
N.R.C....	9/1957	9 56	42	9 12	84	5 81	14

Pour les thermomètres S 167 et R 13, R_0 a augmenté lentement et, corrélativement, α a un peu diminué; ceci est en accord avec l'expérience et est généralement attribué à un écrouissage des fils par les chocs mécaniques brusques ou des vibrations répétées. Pour le thermomètre N° 109, il est difficile d'évaluer les variations de R_0 à cause de la valeur anormalement élevée de la première mesure au N. P. L. La forme exacte des courbes de R_0 et de α en fonction du temps n'est pas connue; il peut y avoir de brusques variations de R_0 , et par suite de α , dues aux chocs mécaniques reçus au cours des transports par exemple. Les variations totales montrent toutefois que les variations passagères de α seraient difficilement décelées, et les mesures justifient seulement une courbe lissée reliant α au temps. Compte tenu de ces remarques et des mesures de contrôle faites au N. P. L. en janvier 1953, mars 1954 et novembre 1956, on a adopté comme la plus probable une relation linéaire entre α et le temps. Par application de la méthode des moindres carrés, on a tracé aux figures 1 à 3 la droite qui correspond le mieux aux diverses valeurs. Cette droite a servi à déterminer les écarts des résultats individuels par rapport à la moyenne (tableau III, colonnes 3, 4 et 5); la valeur maximum de la moyenne de ces écarts (colonne 6) est $1,2 \cdot 10^{-3}$ deg.

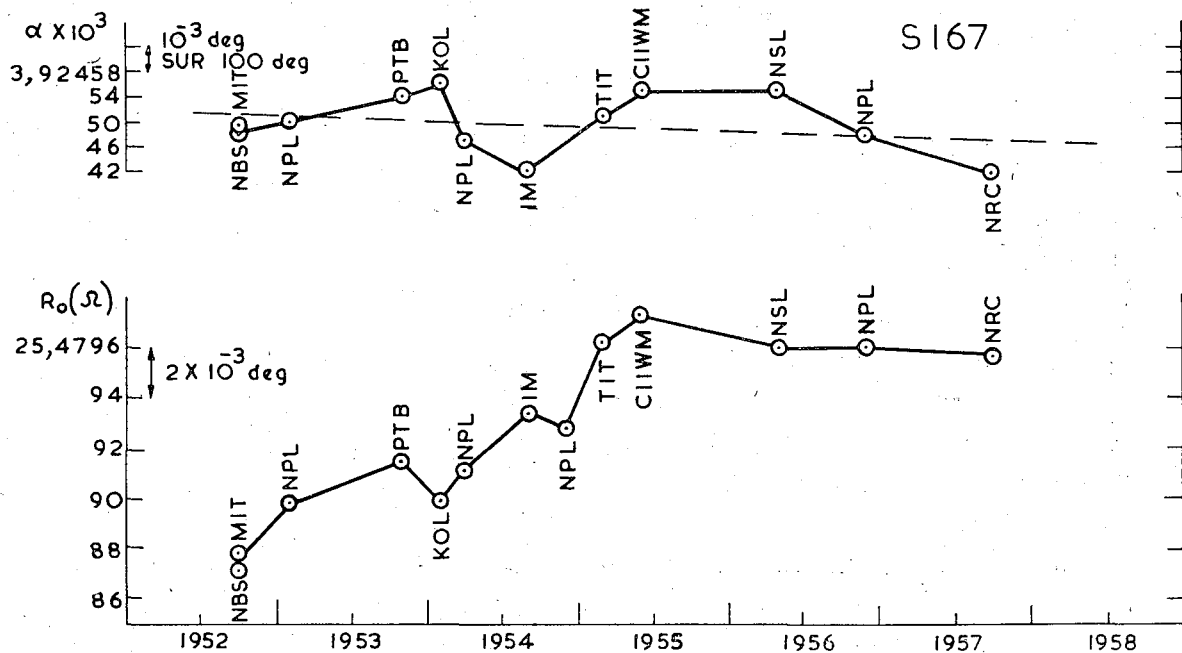


Fig. 1. — Valeurs de R_0 et α du thermomètre S167.

R 13

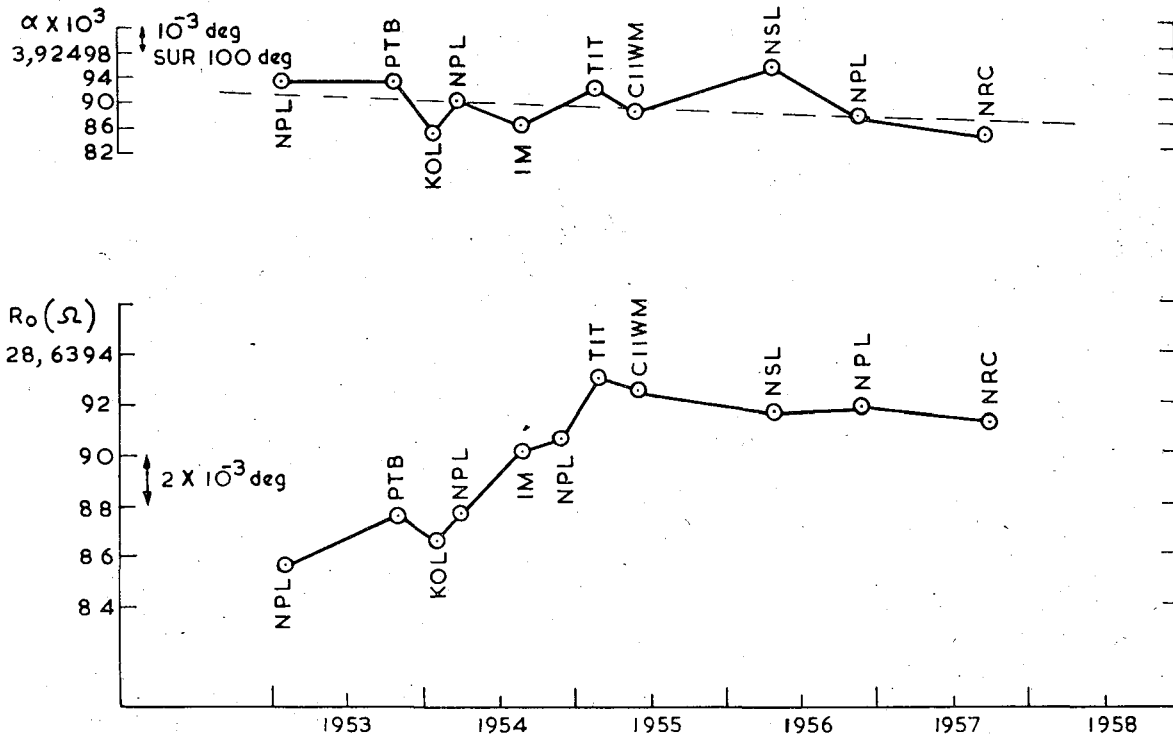


Fig. 2. — Valeurs de R_0 et α du thermomètre R 13.

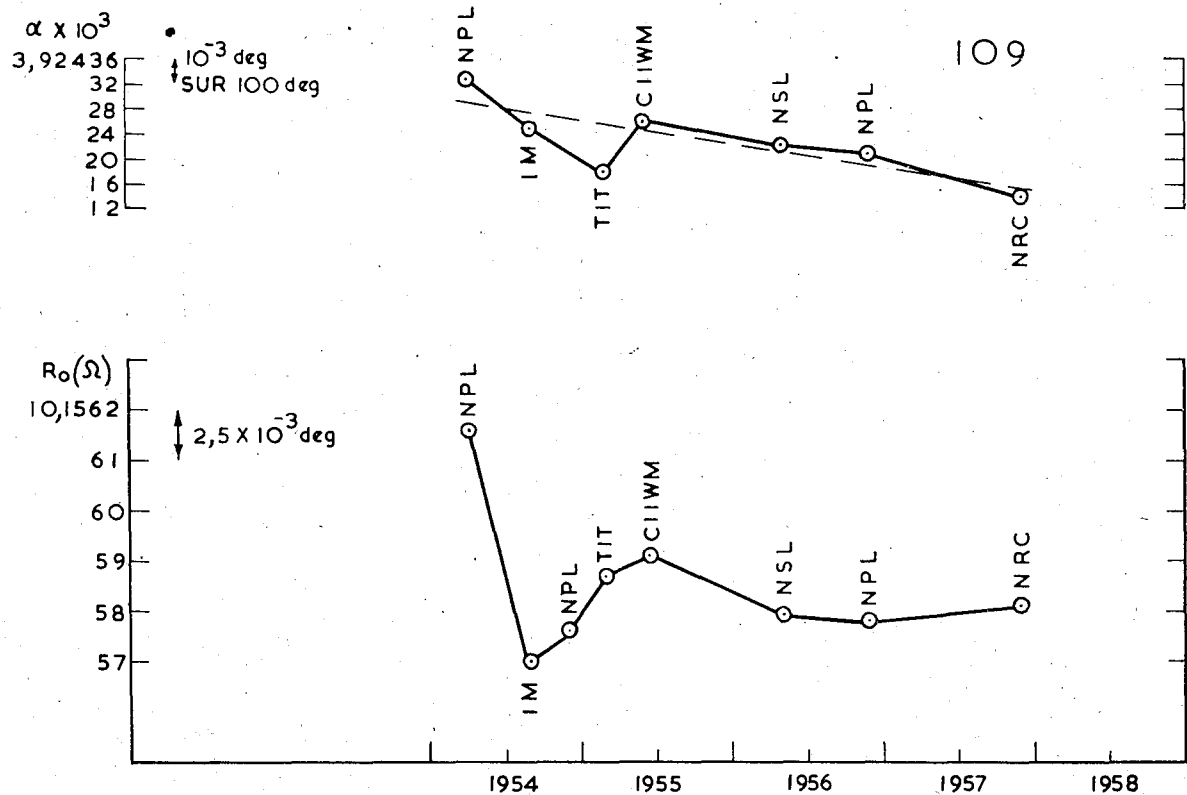


Fig. 3. — Valeurs de R_0 et α du thermomètre N° 109.

TABLEAU III.

*Écart de α par rapport à la droite moyenne
passant au mieux des valeurs
(en degré pour 100 degrés).*

Laboratoire.	Date.	S 167.	R 13.	N° 109.	Moyenne.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
N.B.S.....	9/1952	- 0,000 8			- 0,000 8
M.I.T.....	9/1952	- 0,000 5			- 0,000 5
N.P.L.....	1/1953	- 0,000 3	+ 0,000 5		+ 0,000 1
P.T.B.....	10/1953	+ 0,001 0	+ 0,000 5		+ 0,000 8
K.O.L.....	1/1954	+ 0,001 5	- 0,001 3		+ 0,000 1
N.P.L.....	3/1954	- 0,000 8	0,000 0	+ 0,001 0	+ 0,000 1
I.M.....	8/1954	- 0,002 0	- 0,001 0	- 0,000 5	- 0,001 2
T.I.T.....	2/1955	+ 0,000 5	+ 0,000 8	- 0,001 8	- 0,000 2
C.I.I.W.M...	5/1955	+ 0,001 5	- 0,000 3	+ 0,000 5	+ 0,000 6
N.S.L.....	4/1956	+ 0,001 5	+ 0,001 8	+ 0,000 3	+ 0,001 2
N.P.L.....	11/1956	0,000 0	- 0,000 3	+ 0,000 8	+ 0,000 2
N.R.C.....	9/1957	- 0,001 3	- 0,000 8	- 0,000 3	- 0,000 8

Des mesures sur les trois thermomètres sont actuellement en cours au N. B. S.; ce rapport sera complété quand les dernières mesures de contrôle au N. P. L. auront été faites.

(Mai 1958)

ANNEXE T 2

Kamerlingh Onnes Laboratorium (Pays-Bas)

SUR LA DIFFÉRENCE ENTRE RÉSISTANCE RÉELLE ET IDÉALE DU PLATINE

Par H. Van DIJK

(Traduction)

INTRODUCTION. — Aux très basses températures, la moindre impureté ou la plus petite irrégularité de structure interne a une influence considérable sur la résistance électrique d'un métal. Cette influence ne peut être étudiée correctement avec la règle de Matthiessen.

On a montré (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 23-B, 1952, Annexe T 4, p. T 48) que pour des résistances de platine d'origines différentes mesurées par Van der Leeden et autres au Kamerlingh Onnes Laboratorium [1], la relation suivante convient, avec une précision suffisante, pour les températures inférieures à 20,5° K

$$(1) \quad w = \zeta + w_0 \eta.$$

Dans cette relation, $w = R/R_0$ représente la résistance réduite, $\zeta = Z/Z_0$ la résistance réduite idéale et $w_0 = R_{00}/R_0$ la résistance résiduelle réduite (c'est-à-dire la valeur de w pour $T = 0$). Les variables ζ et η ne dépendent que de la température et sont les mêmes pour toutes les résistances considérées.

On a montré dans l'Annexe T 4 mentionnée ci-dessus que la relation (1) est aussi valable pour les résistances de platine qui satisfont aux relations de Stimson (voir *Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 21, 1948, p. T 117).

CALCUL DE η ET ζ . — Dans cette Annexe T 4 (1952) on a donné des valeurs de η pour $T \leq 20,5^\circ \text{K}$ et pour des températures comprises entre 100 et -183°C . On pouvait aussi déduire α_0 , coefficient de température du platine absolument pur.

En 1952, nous n'avions pas calculé de valeurs de η pour des températures comprises entre 90 et 20,5° K. En 1954, Borowik-Romanov et Strelkov [2] ont obtenu des résultats nouveaux sur des résistances de platine très pur, par des mesures au thermomètre à gaz; ces résultats ont confirmé ceux de Los et Morrison [3], discutés à l'Annexe T 4 (1952). C'est ce qui nous a incités à calculer des valeurs de η dans le domaine compris entre 90 et 20,5° K, en utilisant la relation :

$$(1a) \quad w_b - w_a = (w_{2b} - w_{2a}) \frac{\eta}{\eta_2}$$

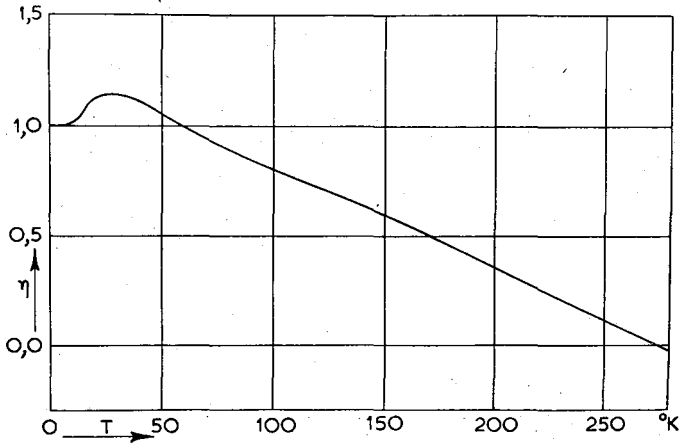


Fig. 1.

Les indices a et b se rapportent à deux résistances de platine différentes et l'indice 2 au point d'ébullition de l'hydrogène. La valeur de η en ce point, η_2 , a été tirée des résultats de Van der Leeden; les valeurs de w_a et w_b proviennent des résultats publiés par Hoge et Brickwedde [4] et par Los et Morrison. La figure 1 représente η en fonction de T entre 0° K et 0° C. Quand on connaît η , ζ peut être calculé entre 20 et 90° K avec l'équation (1). Pour $T < 20,5^\circ$ K, on a pris les valeurs de ζ données par Van der Leeden; pour $T > 90^\circ$ K on a utilisé les relations de Callendar et de Callendar-Van Dusen. Les coefficients δ_0 et β_0 pour la résistance idéale ont été calculés en appliquant les règles de Stimson; selon la première règle

$$\alpha_0 \delta_0 = 0,005\ 857,$$

d'où

$$\delta_0 = 1,491\ 1 \quad \text{quand} \quad \alpha_0 = 0,003\ 928.$$

Selon la deuxième règle,

$$0,585\ 2\ \delta_0 - \beta_0 = 0,792\ 6,$$

d'où

$$\beta_0 = 0,10969.$$

Les valeurs numériques de η et ζ sont données au tableau I; pour $T > 90^\circ \text{K}$, les valeurs de η sont un peu plus faibles que celles qui sont données à l'Annexe T 4 (1952). Ces nouvelles valeurs donnent un meilleur accord à 90°K .

CALCUL DE ε . — La résistance R d'un fil ne contenant qu'une très faible quantité d'impuretés peut être représentée comme la

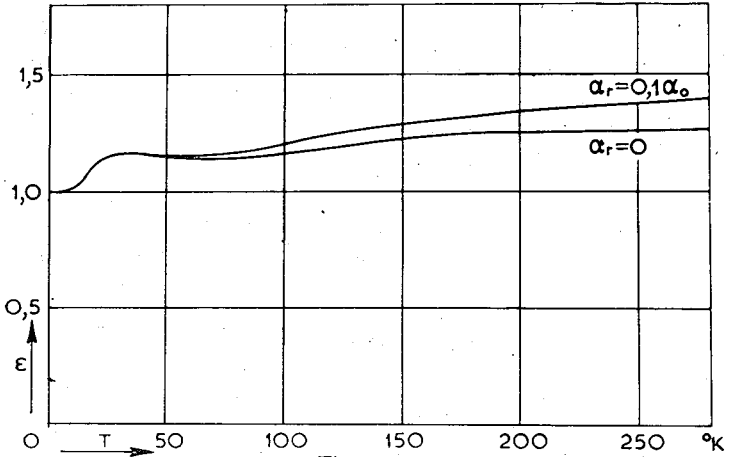


Fig. 2.

somme de deux termes : la résistance idéale Z et une résistance additionnelle r provenant des impuretés et des irrégularités de la structure interne; on admet que la résistance r est proportionnelle à la résistance résiduelle R_{00}

$$(2) \quad r = R_{00} \varepsilon;$$

ε , que l'on suppose être une même fonction de T pour toutes les résistances considérées, est lié à η par la relation

$$(3) \quad \varepsilon = \eta + \varepsilon_0 \zeta.$$

Le coefficient de température de ε étant défini, entre 0 et 100°C , par la relation $\varepsilon_{100} = \varepsilon_0 (1 + 100 \alpha_r)$, les équations (1) et (3) donnent

$$w_{100} = \zeta_{100} + w_0 (\varepsilon_{100} - \varepsilon_0 \zeta_{100})$$

ou

$$1 + 100 \alpha = 1 + 100 \alpha_0 + w_0 \varepsilon_0 [(1 + 100 \alpha_r) - (1 + 100 \alpha_0)]$$

et

$$\varepsilon_0 = \frac{\alpha_0 - \alpha}{\alpha_0 - \alpha_r} \cdot \frac{1}{w_0}.$$

Le coefficient de température α_r de la résistance additionnelle est en général petit [5] et peut être négligé en première approximation; pour Cu, Ag et Au, α_r est toujours inférieur à 0,1 α_0 et presque toujours positif. On a calculé ε à l'aide de l'équation (3), pour $\alpha_r = 0$ et $\alpha_r = 0,1 \alpha_0$. Le résultat est représenté à la figure 2, et le tableau I donne les valeurs de τ , ζ et ε .

TABLEAU I a.

T (°K).	τ .	$\zeta \cdot 10^6$.	ε ($\alpha_r = 0$).	ε' ($\alpha_r = 0,1 \alpha_0$).
14.....	1,049	910	1,050	1,050
15.....	1,060	1 180	1,061	1,062
16.....	1,071	1 530	1,073	1,073
17.....	1,084	1 950	1,086	1,087
18.....	1,096	2 430	1,099	1,099
19.....	1,106	3 010	1,110	1,110
20.....	1,117	3 686	1,122	1,122
21.....	1,123	4 461	1,129	1,129
25.....	1,139	8 655	1,150	1,151
30.....	1,140	16 568	1,161	1,163
35.....	1,127	27 495	1,162	1,165
40.....	1,107	41 164	1,159	1,164
45.....	1,082	57 108	1,154	1,161
50.....	1,055	74 855	1,150	1,159
55.....	1,027	93 952	1,146	1,158
60.....	0,999	114 022	1,143	1,157
65.....	0,971	134 795	1,141	1,158
70.....	0,944	156 006	1,141	1,161
75.....	0,917	177 462	1,141	1,163
80.....	0,892	199 081	1,143	1,168
85.....	0,866	220 812	1,145	1,173
90.....	0,843	242 582	1,149	1,180
91.....	0,837	246 932	1,149	1,180

TABLEAU I b.

t (°C).	τ .	$\zeta \cdot 10^6$.	ε ($\alpha_r = 0$).	ε' ($\alpha_r = 0,1 \alpha_0$).
100.....	— 0,496 0	1,392 800	1,262 7	1,438 6
50.....	— 0,248 0	1,194 937	1,260 9	1,411 8
25.....	— 0,124 0	1,097 102	1,261 3	1,399 8
0.....	0	1,000 000	1,262 7	1,389 0
— 25.....	+ 0,123 9	0,899 962	1,260 3	1,373 9
— 50.....	0,247 3	0,799 126	1,256 4	1,357 3
— 75.....	0,369 2	0,697 395	1,249 8	1,337 9
— 100.....	0,488 4	0,594 624	1,239 9	1,314 3
— 125.....	0,603 3	0,490 634	1,222 8	1,284 8
— 150.....	0,712 0	0,385 201	1,198 4	1,247 0
— 175.....	0,812 2	0,278 063	1,163 3	1,198 4
— 183.....	0,842 0	0,243 370	1,149 3	1,180 0

VALIDITÉ DE L'ÉQUATION (1). — On a dit que plusieurs résistances de platine, mesurées par Van der Leeden et autres au Kamerlingh Onnes Laboratorium, satisfaisaient à la relation (1) avec une précision convenable; ceci a permis de calculer des valeurs de η et ζ dans le domaine de l'hydrogène liquide. Réciproquement, quand (1) est valable

$$(4) \quad w_0 = \frac{w - \zeta}{\eta}.$$

Cette relation permet de calculer la résistance résiduelle réduite, en mesurant w et en prenant ζ et η dans le tableau I. C'est seulement quand on trouve une valeur de w_0 suffisamment constante que l'équation (1) est valable pour la résistance considérée. Nous avons appliqué cet essai aux résistances L6 du N. B. S., IONCh-6 de Borowik-Romanov et Strelkov, et T-S de Los et Morrison; les résultats sont donnés au tableau II.

TABLEAU II.

Valeurs de w_0 pour les résistances L6, IONCh-6 et T-S.

T (°K).	$w_0 \cdot 10^6$.		
	L 6.	IONCh-6.	T-S.
14.....	2 521	507	
15.....	2 536	518	
16.....	2 534	514	
17.....	2 527	509	
18.....	2 537	523	530
19.....	2 537	525	531
20.....	2 527	521	524
Moyenne	2 531	517	528

Le calcul de η pour $T > 90^\circ$ K dépend entièrement de l'application des règles de Stimson; naturellement, des règles ne sont pas des lois et des exceptions sont possibles.

Le calcul de η dans la région 20–90° K donne principalement la valeur η_{L6} , puisque les résistances T-S et IONCh-6 sont presque pures. Mais puisqu'il semble possible de calculer, pour $T < 20,5^\circ$ K et $T < 90^\circ$ K, un η sans appartenance, il est permis de penser que η_{L6} peut être employé, au moins pour les résistances bien recuites suffisamment pures.

La façon dont ϵ dépend de T peut être comparée aux résultats obtenus par Krautz et Schultz [6] sur le tungstène écroui et les alliages plomb-indium.

Bien que pour beaucoup de résistances de platine η et ε dépendent de T de façon à peu près analogue, d'autres peuvent se comporter différemment. La figure 3 montre comment $(w_{L_6} - w_x)$ dépend de la température, pour plusieurs résistances mesurées par Aston et Moessen [7]; si la relation (1a) était rigoureusement valable, les ordonnées des différentes courbes devraient être proportionnelles, ce qui n'est pas tout à fait le cas. Il se peut que les diverses résistances contenaient des impuretés différentes, ou n'étaient pas dans un même état physique; il peut arriver quelquefois, par exemple, que les impuretés soient distribuées de façon non homogène dans la section du fil. Si le fil est constitué d'un noyau central pur entouré de couches superficielles moins pures, la résistance réduite est comparativement plus grande aux températures élevées et plus petite aux basses températures. Un recuit insuffisant peut également être la cause d'un comportement irrégulier.

Pour toutes ces raisons, il y a lieu d'employer une relation moins simple que l'équation (1) et de limiter son application à un intervalle donné, dans tous les cas où une grande précision est nécessaire.

EMPLOI D'UNE RELATION PLUS GÉNÉRALE POUR L'INTERPOLATION [8]. — Prenons, pour toutes les résistances considérées

$$(5) \quad R = a\zeta + p\varepsilon + q.$$

En mesurant R à trois températures, T_1, T_2, T_3 , on peut éliminer les constantes a, p et q

$$(6) \quad \frac{(R - R_1)(\zeta_2 - \zeta_1) - (R_2 - R_1)(\zeta - \zeta_1)}{(R_3 - R_1)(\zeta_2 - \zeta_1) - (R_2 - R_1)(\zeta_3 - \zeta_1)} \\ = \frac{(\varepsilon - \varepsilon_1)(\zeta_2 - \zeta_1) - (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)(\zeta - \zeta_1)}{(\varepsilon_3 - \varepsilon_1)(\zeta_2 - \zeta_1) - (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)(\zeta_3 - \zeta_1)}.$$

En posant

$$W = \frac{R - R_1}{R_2 - R_1}, \quad \xi = \frac{\zeta - \zeta_1}{\zeta_2 - \zeta_1}, \quad \theta = \frac{\varepsilon - \varepsilon_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} - \frac{\zeta - \zeta_1}{\zeta_2 - \zeta_1},$$

l'équation (6) peut s'écrire :

$$(7) \quad \frac{W - \xi}{W_3 - \xi_3} = \frac{\theta}{\theta_3} \quad \text{ou} \quad W = \xi + P\theta.$$

La constante $P = \frac{W_3 - \xi_3}{\theta_3}$ n'est pas la même pour différentes résistances, alors que ζ, ε, ξ et θ sont les mêmes fonctions de T pour toutes les résistances considérées. Quand on dispose de trois

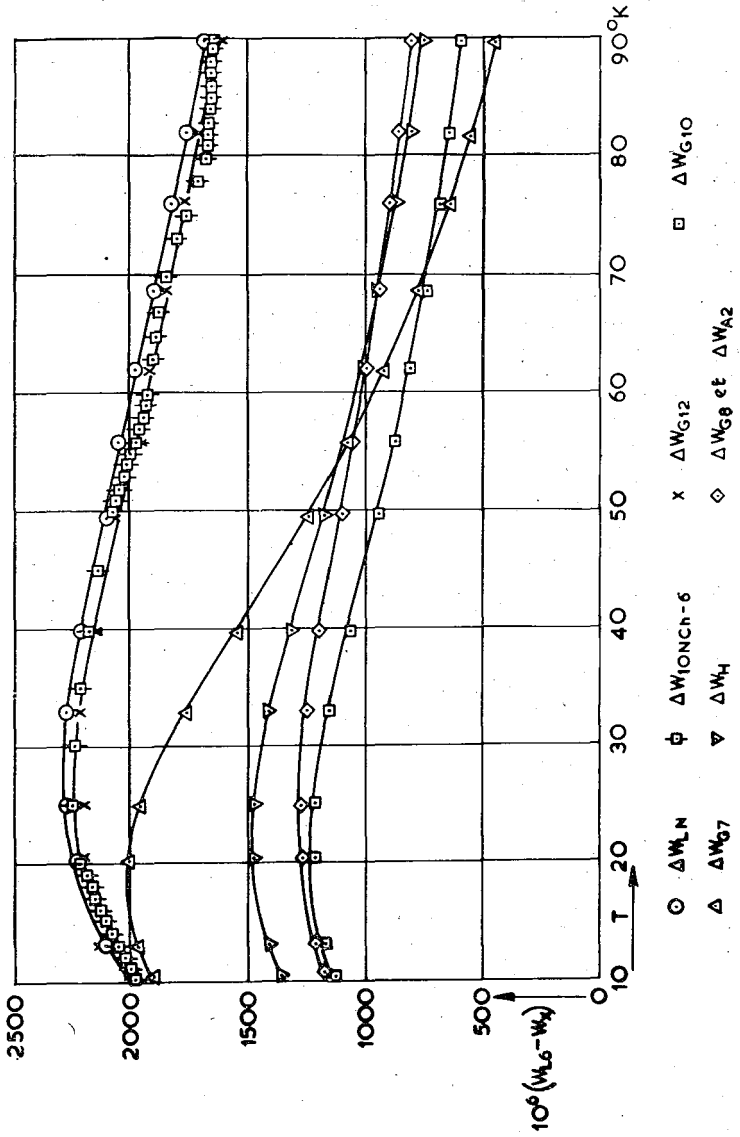


Fig. 3.

résistances, repérées par les indices a, b, c et satisfaisant à la relation (7), les variables ξ et θ s'éliminent; on obtient :

$$(8) \quad \frac{W_c - W_a}{W_b - W_a} = \frac{W_{3c} - W_{3a}}{W_{3b} - W_{3a}} = \lambda, \quad \text{avec} \quad W_3 = \frac{R_2 - R_1}{R_2 - R_1}.$$

La constante λ peut être calculée dès qu'on connaît R_1, R_2, R_3 pour les résistances a, b, c .

TABLEAU III

T (°K)	$W_a \cdot 10^6$	$\Delta 10^6$	T (°K)	$W_a \cdot 10^6$	$\Delta 10^6$	T (°K)	$W_a \cdot 10^6$	$\Delta 10^6$	T (°K)	$W_a \cdot 10^6$	$\Delta 10^6$
10	-15 442 462	-1 016	30	53 074 8 136	248	50	296 354 15 558	126	70	635 205 17 850	- 98
11	-14 980 594	- 913	31	61 210 8 636	252	51	311 912 15 771	111	71	653 055 17 882	-102
12	-14 386 758	- 812	32	69 846 9 131	255	52	327 683 15 969	88	72	670 937 17 916	-105
13	-13 628 958	- 699	33	78 977 9 615	256	53	343 652 16 151	68	73	688 853 17 949	-108
14	-12 670 1 198	- 581	34	88 592 10 089	259	54	359 803 16 317	47	74	706 802 17 972	-110
15	-11 472 1 467	- 468	35	98 681 10 549	257	55	376 120 16 479	30	75	724 774 18 006	-111
16	-10 005 1 764	- 361	36	109 230 10 994	256	56	392 599 16 626	12	76	742 780 18 026	-111
17	- 8 241 2 105	- 261	37	120 224 11 423	258	57	409 225 16 765	1	77	760 806 18 051	-111
18	- 6 136 2 450	- 180	38	131 647 11 837	257	58	425 990 16 901	- 11	78	778 857 18 075	-111
19	- 3 686 2 840	- 97	39	143 484 12 233	249	59	442 891 17 027	- 21	79	796 932 18 091	-110
20	- 3 846 3 255	- 19	40	155 717 12 613	247	60	459 918 17 143	- 31	80	815 023 18 117	-108
21	+ 2 409 3 692	+ 43	41	168 330 12 976	242	61	477 061 17 256	- 40	81	833 140 18 126	-106
22	+ 6 101 4 151	+ 94	42	181 306 13 324	234	62	494 317 17 354	- 48	82	851 266 18 142	-102
23	+ 10 252 4 625	+ 130	43	194 630 13 655	226	63	511 671 17 446	- 55	83	869 408 18 154	- 96
24	+ 14 877 5 111	+ 166	44	208 285 13 975	216	64	529 117 17 532	- 61	84	887 562 18 160	- 90
25	+ 19 988 5 608	+ 192	45	222 260 14 275	202	65	546 649 17 597	- 69	85	905 722 18 169	- 82
26	+ 25 596 6 111	+ 212	46	236 535 14 563	189	66	564 246 17 664	- 75	86	923 891 18 177	- 70
27	+ 31 707 6 615	+ 223	47	251 098 14 833	176	67	581 910 17 718	- 82	87	942 068 18 175	- 57
28	+ 38 322 7 123	+ 236	48	265 931 15 091	162	68	599 628 17 768	- 88	88	960 243 18 161	- 43
29	+ 45 445 7 629	+ 244	49	281 022 15 332	145	69	617 396 17 809	- 93	89	978 404 18 150	- 23
30	+ 53 074	+ 248	50	296 354	126	70	635 205	- 98	90	996 554	- 4

Lorsque W_a , W_b sont connus en fonction de T , on peut calculer également W_c en fonction de T puisque

$$(9) \quad W_c = W_a + \lambda(W_b - W_a).$$

Cette relation permet d'interpoler entre T_1 et T_2 . Le tableau III donne les valeurs de W_a et $(W_b - W_a)$ pour les températures comprises entre 10 et 90° K; pour T_1 et T_2 on a choisi les températures des points d'ébullition de l'oxygène et de l'hydrogène.

Explication du tableau III.

W_a est une moyenne lissée de $\frac{R - R_{H_2}}{R_{O_2} - R_{H_2}}$, obtenue par une méthode graphique en utilisant les données de la Chambre Centrale des Mesures et Instruments de Mesure de l'U.R.S.S. (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 24, 1954, p. T 142) et celles de Los et Morrison (*Can. J. Phys.*, 29, 1951, p. 148).

$\Delta = W_{L_6} - W_a$, en prenant pour W_{L_6} les valeurs de W calculées en utilisant les résultats de Hoge et Brickwedde (*J. Research N.B.S.*, 22, 1939, p. 364).

Pour un thermomètre à résistance de platine suffisamment pur, on peut calculer la valeur de $W_x = \frac{R_x - R_{H_2}}{R_{O_2} - R_{H_2}}$ en fonction de la température par la relation :

$$W_x = W_a + \lambda_x \Delta, \text{ dans laquelle } \lambda_x = \frac{W_{3x} - W_{3a}}{\Delta_3}.$$

Pour le thermomètre en question les valeurs de R_{H_2} , R_{O_2} et R_3 doivent être connues :

R_{H_2} est la résistance du thermomètre à 20,273° K;

R_{O_2} est la résistance au point d'ébullition de l'oxygène (— 182,97° C);

R_3 est la résistance à une température convenablement choisie dans la région pour laquelle la valeur de W_a est connue.

Puisque

$$W_x = \frac{(R_x/R_0) - (R_{H_2}/R_0)}{(R_{O_2}/R_0) - (R_{H_2}/R_0)} = \frac{\omega_x - \omega_{1x}}{\omega_{2x} - \omega_{1x}} = W_a + \lambda_x \Delta,$$

on peut écrire aussi

$$R_x/R_0 = \omega_x = (\omega_{2x} - \omega_{1x}) W_a + \lambda_x (\omega_{2x} - \omega_{1x}) \Delta + \omega_{1x}.$$

Quand on a mesuré pour un thermomètre x les valeurs de w_{1x} , w_{2x} et w_{3x} , on peut calculer w_x en fonction de la température T pour toutes les températures dont les valeurs de W_a et Δ sont connues.

Entre 10° et 18° K : $W_a = W_{\text{IONCh-6}}$.

Entre 18° et 54° K : $W_a = \frac{1}{2} (W_{\text{IONCh-6}} + W_{\text{LM}})$.

Entre 54° et 90° K : $W_a =$ une moyenne lissée de $W_{\text{IONCh-6}}$ et W_{LM} .

Le tableau III donne W_a , Δ et les différences premières de W_a en fonction de la température T.

(Mai 1958)

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] Van der LEEDEN (P.), Thèse, Leiden, 1946, p. 155 et 156.
 - [2] BOROWIK-ROMANOV (A. S.) et STRELKOV (P. G.), *C. R. Acad. Sc. U.R.S.S.*, 83, 1952, p. 59; *Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 23-B, 1952, Annexe T 2, p. T 32, et 24, 1954, Annexe T 18, p. T 141.
 - [3] LOS (J. M.) et MORRISON (J. A.), *Can. J. Phys.*, 29, 1951, p. 142.
 - [4] HOGE (H. J.) et BRICKWEDDE (F. G.), *J. Research Nat. Bur. Stand.*, 22, 1939, p. 364 (R. P. 1188).
 - [5] LINDE (J. O.), Thèse, Stockholm, 1939.
 - [6] KRAUTZ (E.) et SCHULZ (H.), *Z. f. Naturforschung*, 9a, 1954, p. 125; *Abh. der Braunschweigischen Wiss. Ges.*, 8, 1956, p. 55.
 - [7] MOESSEN (G. W.), Thèse, Pennsylvania State University, 1955.
 - [8] Voir *Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 23-B, 1952, Annexe T 4, p. T 48, et *Commun. Kamerlingh Onnes Lab.*, Leiden, Suppl. n° 112b.
-

ANNEXE T 3

National Physical Laboratory (Royaume-Uni)

LA DÉFINITION D'UNE ÉCHELLE DE TEMPÉRATURE DANS LE DOMAINE 20 A 90° K, EN UTILISANT LE THERMOMÈTRE A RÉSISTANCE DE PLATINE COMME INSTRUMENT D'INTERPOLATION

Par C. R. BARBER

(Traduction)

La relation résistance-température de plusieurs thermomètres à résistance de platine ayant des rapports R_{100}/R_0 très différents, a été étudiée dans le domaine 20 à 90° K en vue d'établir des critères d'interpolation satisfaisants. Tous les thermomètres ont été conçus et construits au N. P. L., sauf le N° 718157 qui appartient au N. B. S., et le thermomètre PS construit à la Pennsylvania State University; ils ont tous été comparés au N° 718157.

Les résultats des étalonnages sont représentés aux figures 1 et 2, sous forme des différences ΔZ par rapport à la table du N. B. S. de la « fonction Z » $\left(Z = \frac{R_T - R_{112}}{R_{02} - R_{112}} \right)$ (1). Le thermomètre N° 718157, d'après son étalonnage au N. B. S., a une fonction Z qui coïncide exactement avec les valeurs de la table. Cette table a été proposée, à l'origine, comme moyen d'interpolation en se rapportant à deux points repères, les points d'ébullition de l'hydrogène et de l'oxygène. Les écarts indiqués aux figures 1 et 2 représentent les erreurs qu'entraîne un tel moyen d'interpolation. Ces erreurs, exprimées en degré, sont données dans les colonnes Δt_i du tableau I; elles sont d'une telle importance qu'un thermomètre ne pourrait définir une température interpolée à mieux que 0,01 deg.

(1) *Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 21, 1948, p. T 87.

TABLEAU I.

Erreurs d'interpolation, en degré, dans le domaine de 20 à 90°K.

Δt_1 , 2 points d'étalonnage;

Δt_2 , 3 points d'étalonnage;

Δt_3 , 4 points d'étalonnage.

N° du thermomètre
et valeur de

$$\frac{R_{100}}{R_0}$$

		30.	40.	50.	60.	70.	80° K.
G 3 (1,392 644)	$\Delta t_1 \dots$	- 0,015	- 0,016	- 0,014	- 0,012	- 0,009	- 0,006
	$\Delta t_2 \dots$	+ 0,003	+ 0,003	+ 0,001	0,000	0,000	0,000
	$\Delta t_3 \dots$	+ 0,001	+ 0,001	- 0,001	- 0,001	- 0,001	0,000
G 2 (1,392 546)	$\Delta t_1 \dots$	+ 0,012	+ 0,014	+ 0,012	+ 0,010	+ 0,007	+ 0,004
	$\Delta t_2 \dots$	- 0,001	- 0,002	- 0,001	0,000	+ 0,001	+ 0,001
	$\Delta t_3 \dots$	+ 0,001	0,000	0,000	+ 0,001	+ 0,001	0,000
RS (1,392 381)	$\Delta t_1 \dots$	- 0,010	- 0,014	- 0,014	- 0,013	- 0,010	- 0,006
	$\Delta t_2 \dots$	- 0,003	- 0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
	$\Delta t_3 \dots$	- 0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A ₁ (1,392 343)	$\Delta t_1 \dots$	+ 0,026	+ 0,029	+ 0,026	+ 0,019	+ 0,012	+ 0,006
	$\Delta t_2 \dots$	- 0,004	- 0,005	- 0,002	+ 0,003	+ 0,005	+ 0,004
	$\Delta t_3 \dots$	+ 0,004	0,000	0,000	+ 0,001	+ 0,001	0,000
S ₁ (1,392 145)	$\Delta t_1 \dots$	+ 0,046	+ 0,053	+ 0,050	+ 0,041	+ 0,027	+ 0,013
	$\Delta t_2 \dots$	- 0,003	- 0,005	- 0,002	+ 0,003	+ 0,007	+ 0,007
	$\Delta t_3 \dots$	+ 0,007	+ 0,002	- 0,001	- 0,001	0,000	0,000
S ₂ (1,392 128)	$\Delta t_1 \dots$	+ 0,053	+ 0,059	+ 0,051	+ 0,042	+ 0,029	+ 0,015
	$\Delta t_2 \dots$	- 0,008	- 0,010	- 0,002	+ 0,003	+ 0,006	+ 0,005
	$\Delta t_3 \dots$	+ 0,005	0,000	+ 0,001	+ 0,001	0,000	0,000
PS (1,391 460)	$\Delta t_1 \dots$	+ 0,068	+ 0,087	+ 0,091	+ 0,082	+ 0,062	+ 0,035
	$\Delta t_2 \dots$	+ 0,016	+ 0,005	+ 0,001	+ 0,001	+ 0,003	+ 0,002
	$\Delta t_3 \dots$	+ 0,014	+ 0,003	- 0,003	- 0,003	- 0,001	0,000

Le tableau II donne, pour chaque thermomètre, les rapports R_{100}/R_0 et R_{00}/R_0 (où R_{00} est la résistance résiduelle mesurée au point d'ébullition de l'hélium), ainsi que l'écart exprimé en degré par rapport à la table de la « fonction Z » à 40° K (Δt_1^{40}). Dans la plupart des cas les résultats sont en accord avec la théorie, en ce sens que plus le rapport R_{100}/R_0 est grand, plus le rapport R_{00}/R_0 est petit; de même, dans la plupart des cas, plus l'écart entre le rapport R_{100}/R_0 et celui de la table (1,392 50) est grand, plus l'écart Δt_1^{40} est grand. Il y a cependant des exceptions notables. Par exemple, le thermomètre RS a une résistance résiduelle beaucoup plus élevée que ne le laisserait supposer son rapport R_{100}/R_0 , et son Δt_1^{40} est de signe contraire. Le thermomètre G2 a

également un Δt_1^{30} anormal, tandis que le thermomètre PS a un rapport R_{00}/R_0 extrêmement bas compte tenu de la valeur de son rapport R_{100}/R_0 . Les résistances de tous ces thermomètres étaient très reproductibles, à toutes températures. Par exemple, les rapports R_{00}/R_0 et R_{100}/R_0 se reproduisaient à $0,5 \cdot 10^{-3}$ et $2 \cdot 10^{-6}$ près respectivement; on ne pouvait donc pas rejeter les thermomètres pour cause de construction défectueuse. Nous sommes ainsi conduits à la conclusion que des résultats anormaux, actuellement inexplicables, peuvent se présenter; en conséquence, il est impossible de prédire avec précision la forme de la courbe résistance-température, en s'appuyant sur des constantes déterminées en dehors du domaine de température considéré, telles que la résistance résiduelle ou le rapport R_{100}/R_0 . Il paraît ainsi nécessaire de prendre plus de deux points d'étalonnage dans le domaine $20-90^\circ$ K pour avoir une interpolation suffisamment précise.

TABLEAU II.

Valeurs des rapports $\frac{R_{100}}{R_0}$, $\frac{R_{00}}{R_0}$ et de l'écart Δt_1^{40} des thermomètres.

Thermomètre.	R_{100}/R_0 .	R_{00}/R_0 .	Δt_1^{40} .
G 3	1,392 664	0,000 464 7	- 0,016 deg
G 2	1,392 546	0,000 482 2	+ 0,014
N° 718157	1,392 500	0,000 544 7	0,000
G 1	1,392 437	0,000 519 9	-
RS	1,392 381	0,001 019 7	- 0,014
A ₁	1,392 343	0,000 786 8	+ 0,029
S ₁	1,392 145	0,000 933 5	+ 0,053
S ₂	1,392 128	0,000 927 2	+ 0,059
PS	1,391 460	0,000 631 0	+ 0,087
J ₂	1,391 822	0,001 527 0	-

Nous avons étudié l'influence, sur les erreurs d'interpolation, de l'emploi d'une forme quadratique pour le calcul de ΔZ , le troisième point d'étalonnage étant le point triple de l'oxygène ($54,363^\circ$ K); l'équation déduite est

$$(1) \quad \Delta Z = -\frac{\Delta Z_s}{1221,3} (T^2 - 110,46 T + 1828,4),$$

où ΔZ_s est l'écart observé au point triple de l'oxygène. Quand on compare les valeurs calculées à partir de l'équation (1) aux courbes obtenues, on est conduit aux erreurs Δt exprimées en degré, données au tableau I. L'erreur maximum se situe entre 30° K et 40° K; pour les thermomètres où ΔZ_s n'excède pas $2 \cdot 10^{-4}$,

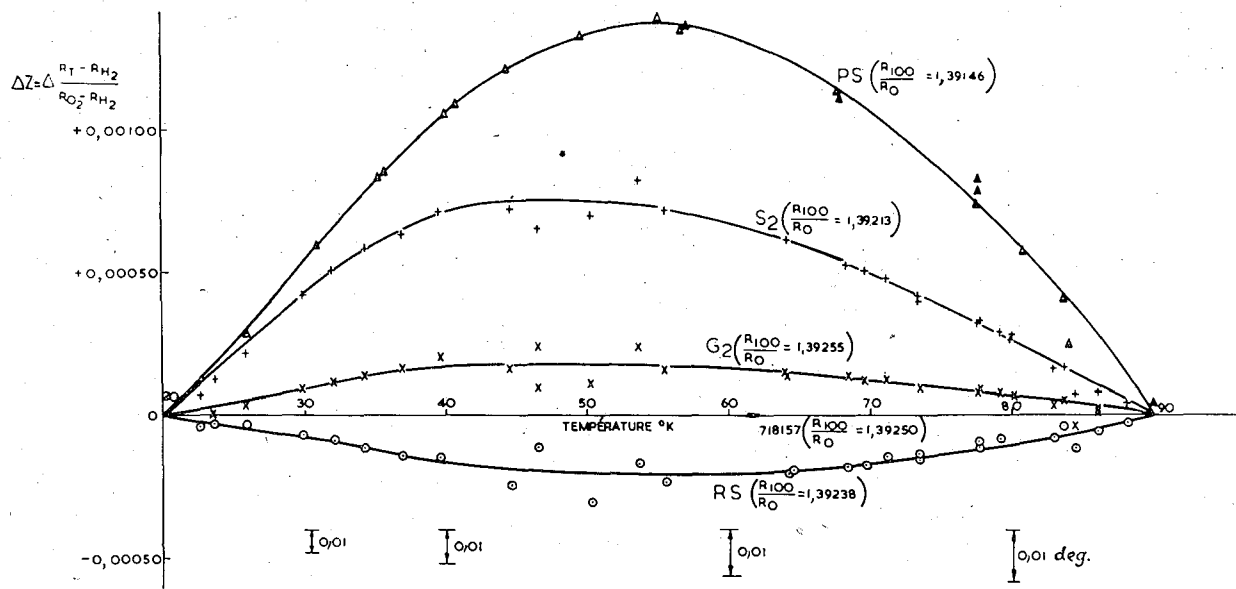


Fig. 1. — L'échelle des thermomètres à résistance de platine entre 20° et 90° K.
 Différences entre les indications des thermomètres et la table de la « fonction Z » du N.B.S.
 (Procès-Verbaux C.I.P.M., 21, 1948, p. T 87).

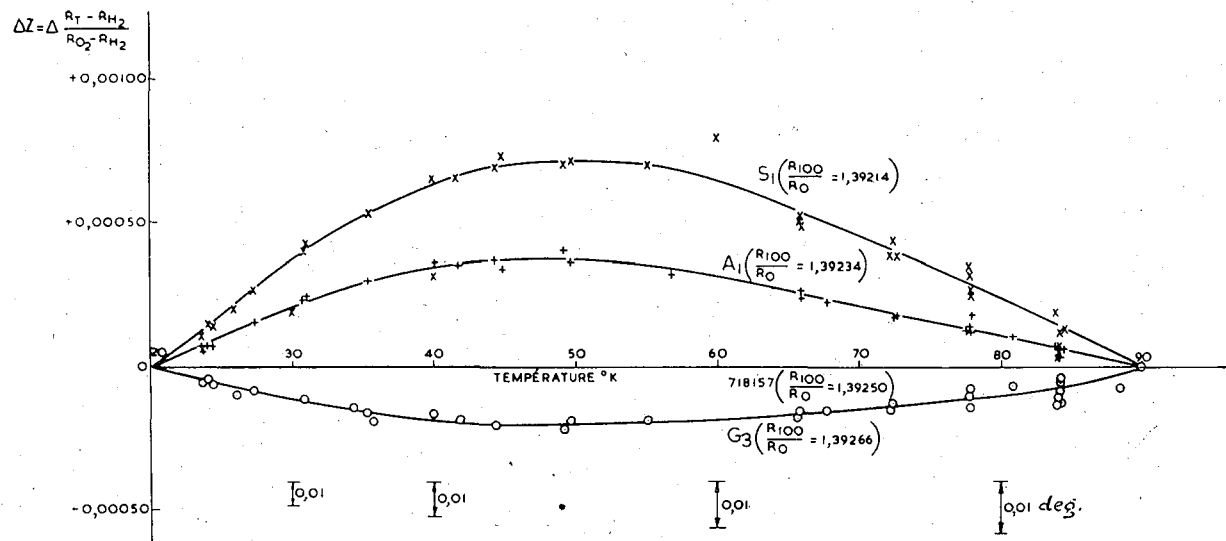


Fig. 2. — L'échelle des thermomètres à résistance de platine entre 20° et 90° K.
 Différences entre les indications des thermomètres et la table de la « fonction Z » du N.B.S.
 (Procès-Verbaux C.I.P.M., 21, 1948, p. T 87).

Δt_2 ne dépasse pas 0,003 deg. La réduction plus poussée de l'erreur d'interpolation peut être obtenue, soit en réduisant ΔZ_S , soit en utilisant un autre point d'étalonnage. L'emploi d'une équation de forme cubique en prenant le point d'ébullition de l'hydrogène, le point de transition de l'oxygène (43,8° K), le point d'ébullition de l'azote (77,35° K) et le point d'ébullition de l'oxygène conduit à une exactitude d'interpolation de $\pm 0,002$ deg, comme le montrent les Δt_3 (tableau I), pour le même écart limite ΔZ_S que ci-dessus ($2 \cdot 10^{-4}$). En tout cas, cette exactitude est probablement à peu près du même ordre de grandeur que la précision relative des étalonnages. Le progrès obtenu en utilisant une équation de forme cubique ne semble pas justifier le surcroît de travail qu'implique la détermination du point d'étalonnage supplémentaire.

En conclusion, il est possible d'interpoler avec un thermomètre à résistance de platine dans le domaine 20 à 90° K, avec une précision suffisante, en opérant comme suit : le thermomètre est étalonné au point d'ébullition de l'hydrogène, au point triple de l'oxygène et au point d'ébullition de l'oxygène; on calcule ensuite la valeur de la fonction Z au point triple de l'oxygène, et l'on détermine la différence entre la valeur ainsi calculée et la valeur donnée par la table admise pour la « fonction Z ». Si cette différence ne dépasse pas $2 \cdot 10^{-4}$, le thermomètre est satisfaisant et ses propres valeurs Z peuvent être calculées à partir de l'équation (1) en liaison avec la table. La valeur limite de $2 \cdot 10^{-4}$ pour ΔZ_S correspond en gros à un rapport R_{100}/R_0 compris entre 1,392 4 et 1,392 7, mais il n'a pas été possible de fixer des spécifications en s'appuyant sur ce rapport par suite des anomalies possibles mentionnées ci-dessus.

(Mai 1958)

ANNEXE T 4

National Physical Laboratory (Royaume-Uni)

REMARQUES SUR LES PROPOSITIONS POUR UNE ÉCHELLE DE TEMPÉRATURE ENTRE 20 ET 90° K

Par C. R. BARBER

(Traduction)

Des propositions ont été faites par le Kamerlingh Onnes Laboratorium (Annexe T 2, p. T 42) et le National Physical Laboratory (Annexe T 3, p. T 52) pour une échelle de température entre 20 et 90° K, qui ferait usage du thermomètre à résistance de platine comme instrument d'interpolation. Ces propositions sont examinées dans cette Note.

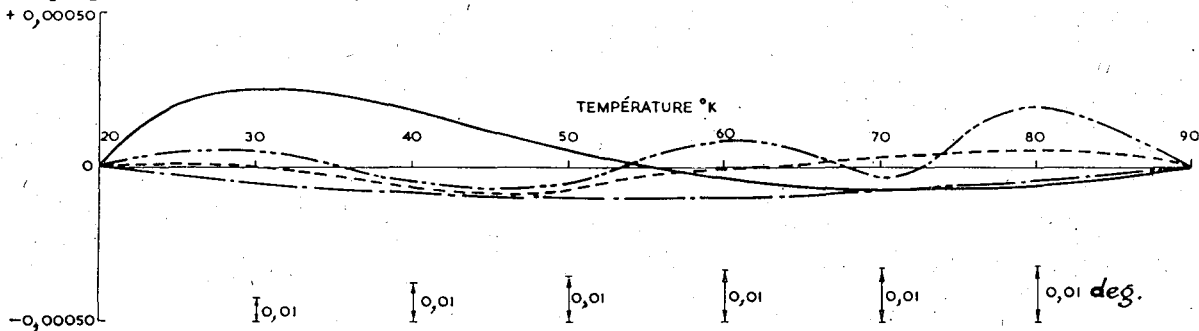
Par suite des grandes variations de la relation résistance-température du platine avec la pureté de ce dernier dans le domaine de température considéré, il n'a pas été possible de trouver une formule d'interpolation satisfaisante; les deux propositions choisissent de fonder l'échelle sur une table de valeurs résistance-température.

Il est commode de considérer la relation

$$Z = \frac{R_T - R_{11}}{R_{02} - R_{11}}$$

plutôt qu'une simple table résistance-température. Les différences entre les diverses tables publiées sont représentées sur le graphique ΔZ en fonction de T (voir figure), où ΔZ est l'écart de chaque table par rapport à celle du N. B. S. (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 21, 1948, p. T 87). Deux de ces tables seulement, celle du N. B. S. et celle de l'I. M. (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 24, 1954, p. T 142-T 143) proviennent d'étalonnages primaires. La table de LM (Los et Morrison, *Can. J. Phys.*, 29, 1951, p. 142) dérive de la table du N. B. S., et celle de Van Dijk provient des tables de l'I. M. et de LM. Les écarts de la courbe I. M. par

$$\Delta Z = \Delta \frac{R_T - R_{H_2}}{R_{O_2} - R_{H_2}} + 0,00050$$



Écarts de diverses tables par rapport à la table de la « fonction Z » du N.B.S. (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 21, 1948, p. T 87).

————— Thermomètre L6 [États-Unis] (Hoge et Brickwedde, *J. Res. N.B.S.*, 22, 1939, p. 364).

- - - - - Table de P.I.M. [U.R.S.S.] (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 24, 1954, p. T 142-143).

- . . . - Table de LM [Los et Morrison], dérivée de la table du N.B.S.

----- Table de H. Van Dijk, dérivée des tables de P.I.M. et de LM.

rapport à l'axe représentent : *a.* les différences de pureté du platine utilisé; *b.* les différences dans la mesure des températures thermodynamiques. Les différences dépassant à peine 0,01 deg, une table moyenne pourrait être considérée comme une base satisfaisante pour une échelle de température. On ne voit pas pourquoi la table de Los et Morrison a été utilisée de préférence à celle du N. B. S. pour l'établissement d'une table moyenne à l'Annexe T 2.

La méthode employée à l'Annexe T 2 pour calculer l'étalonnage d'un thermomètre particulier est basée sur l'hypothèse que, pour deux thermomètres quelconques, le rapport des ordonnées des courbes donnant les différences entre les indications des thermomètres et la table de la fonction Z, est le même à toutes températures. Ainsi, pour deux thermomètres 1 et 2

$$\left(\frac{\Delta Z_1}{\Delta Z_2}\right)_{t_1} = \left(\frac{\Delta Z_1}{\Delta Z_2}\right)_{t_2} = \left(\frac{\Delta Z_1}{\Delta Z_2}\right)_{t_3}, \dots$$

Si le thermomètre 2 donne une courbe ΔZ_2 typique et si les ΔZ_2 sont connus sur tout le domaine de température, on peut en déduire les ΔZ_1 du thermomètre 1 par étalonnage à une seule température t_1 , en plus des points de l'oxygène et de l'hydrogène; alors

$$(\Delta Z_1)_{t_2} = \left(\frac{\Delta Z_1}{\Delta Z_2}\right)_{t_1} (\Delta Z_2)_{t_2}.$$

Les valeurs données au tableau III de l'Annexe T2 concernent le thermomètre L6 qui, malheureusement, semble présenter quelques particularités exceptionnelles (voir les diverses courbes de différences aux figures 1 et 2 de l'Annexe T 3, ainsi que les courbes de Los et Morrison), avec l'inconvénient supplémentaire d'un changement de signe. Le rapport des ordonnées au voisinage de la température où la différence est nulle sera manifestement très imprécis.

La méthode de proportionnalité des ordonnées peut être appliquée aux courbes de différences des thermomètres (figures 1 et 2, Annexe T 3) qui satisfont aux critères exposés dans l'Annexe T 3. Ceci est possible du fait que ces courbes peuvent être représentées avec une bonne approximation par des équations à forme quadratique symétrique et, comme telles, ont des coordonnées proportionnelles. Le fait d'admettre une forme quadratique symétrique (Annexe T 3) évite toutefois l'emploi d'une table de référence normale des différences.

ANNEXE T 5

Kamerlingh Onnes Laboratorium (Pays-Bas)

NOUVEAUX CALCULS DES POINTS FIXES IMPORTANTS DANS LE DOMAINE DES BASSES TEMPÉRATURES

Par H. Van DIJK

(Traduction)

INTRODUCTION. — Pour fixer l'échelle de température dans le domaine de l'hélium liquide, nous avons besoin de connaître quelle est la meilleure valeur à attribuer au point d'ébullition de l'hélium. La température de ce point étant liée à celle du point d'ébullition de l'hydrogène qui, elle-même, dépend de la température du point d'ébullition de l'oxygène, nous avons d'abord recherché quelle est la meilleure valeur à attribuer à ce dernier point. Désirant avoir un certain nombre de valeurs des points d'ébullition, il nous fallait remonter autant que possible aux Mémoires originaux, réduire les résultats sur une base commune, et recalculer les corrections pour le passage au gaz parfait de façon cohérente.

La plupart des valeurs des trois points fixes ont été obtenues par des mesures au thermomètre à hélium à volume constant, où l'on compare les pressions de l'hélium à une température connue et à la température à déterminer. Une fois appliquées des corrections telles que celles se rapportant à la dilatation du réservoir du thermomètre ou au volume de l'espace nuisible, la correction pour le passage au gaz parfait peut se calculer, pour la méthode à volume constant, à l'aide de la relation

$$T = \frac{p}{p_r} \cdot T_r + (B_r - B) \cdot T p_r \quad [1].$$

Si la température de référence est le point de glace ($T_r = T_0$), on doit prendre $T_0 = 273,15^\circ \text{K}$.

Le terme $(B_r - B)$. T_{p_r} est la correction due aux écarts de l'hélium à la loi des gaz parfaits; sa valeur est proportionnelle à p_r . Si la température de référence est T_0 et si la pression de référence est $p_r = p_0 = 100$ cm Hg, la correction est celle du thermomètre (à hélium) dit normal. Pour l'hélium, cette correction a été calculée à partir de résultats expérimentaux par W. H. Keesom, par J. Otto et par F. G. Keyes [2]. Les résultats obtenus par les divers auteurs sont légèrement différents. Entre 20 et 100° K, la différence est au plus 0,002 deg dans le domaine d'utilisation du thermomètre normal à hélium. Cependant des expérimentateurs emploient parfois une pression de référence correspondant à une pression d'environ 3 m au point de glace. Les valeurs de T_r adoptées par divers auteurs pour calculer les températures des points d'ébullition diffèrent également, même dans des calculs récents. C'est pourquoi il faut rendre cohérentes ces valeurs des points d'ébullition. Nous avons calculé de telles valeurs pour O_2 , H_2 et He, en prenant $T_0 = 273,15^\circ$ K et en adoptant les valeurs de W. H. Keesom pour les corrections à la loi des gaz parfaits. Divers auteurs ayant utilisé une formule moins simple que la nôtre, la réduction de leurs résultats était plus compliquée qu'elle n'apparaît ici. Voici les résultats de nos calculs.

POINT D'ÉBULLITION DE L'OXYGÈNE. — En ne tenant pas compte des résultats antérieurs à 1929, on dispose encore de ceux de Leyde, de Berlin, des États-Unis d'Amérique et du Japon.

En 1940, M^{lle} H. Van der Horst a repris les résultats de Leyde et les a corrigés pour les ramener à l'échelle en usage à Leyde à cette époque, ce qui conduisit pour le point d'ébullition de l'oxygène à la valeur — 182,988° C. Le calcul pour $T_0 = 273,15^\circ$ K fournit

$$t_{0_2} = -182,990^\circ\text{C} \quad \text{ou} \quad T_{0_2} = 90,160^\circ\text{K}.$$

Des détails sont donnés dans la thèse de M^{lle} H. Van der Horst (Leyde, 1940) et dans les *Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 23-B, 1952, p. T 45.

H. Moser et J. Otto mentionnent également dans les *Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 23-B, 1952, p. T 59, que les meilleurs résultats de la P. T. R. sont ceux de Heuse et Otto

$$t_{0_2} = -182,962^\circ\text{C} \quad (1931),$$

$$t_{0_2} = -182,965^\circ\text{C} \quad (1932).$$

En recalculant ces résultats pour $T_0 = 273,15^\circ$ K et en appliquant les corrections de W. H. Keesom pour tenir compte des écarts à la loi des gaz parfaits, on obtient la valeur moyenne

$$t_{0_2} = -182,959^\circ\text{C} \quad \text{ou} \quad T_{0_2} = 90,191^\circ\text{K}.$$

A Leyde comme à Berlin, on utilisait le thermomètre à hélium.

Aston et Moessen, à la Pennsylvania State University [3], ont effectué un travail analogue en 1951 (publié en 1953); en prenant $T_0 = 273,16^\circ \text{K}$ et pour B les valeurs de Keyes, ils ont obtenu

$$t_{0_2} = -183,006^\circ \text{C} \quad \text{ou} \quad T_{0_2} = 90,154^\circ \text{K}.$$

En recalculant cette valeur, on obtient

$$t_{0_2} = -183,000^\circ \text{C} \quad \text{ou} \quad T_{0_2} = 90,150^\circ \text{K}.$$

La moyenne de tous les résultats obtenus au thermomètre à gaz à Leyde, à la P. T. R. et à la P. S. U. est

$$t_{0_2} = -182,983^\circ \text{C} \quad \text{ou} \quad T_{0_2} = 90,167^\circ \text{K}.$$

Au Japon, le point d'ébullition de l'oxygène a été mesuré au thermomètre à hydrogène, en 1935, par Ahoyama et Kanda, en prenant $T_0 = 273,15^\circ \text{K}$

$$t_{0_2} = -182,980^\circ \text{C} \quad \text{ou} \quad T_{e_2} = 90,17^\circ \text{K}.$$

La moyenne générale de tous les résultats, en donnant un même poids aux différents instituts, est la suivante

$$t_{0_2} = -182,982^\circ \text{C} \quad \text{ou} \quad T_{0_2} = 90,168^\circ \text{K}.$$

POINT D'ÉBULLITION DE L'HYDROGÈNE NORMAL. — A la session de 1952 du Comité Consultatif de Thermométrie, trois documents donnaient une conclusion sur la meilleure valeur à attribuer au point d'ébullition de l'hydrogène normal.

L'Institut de Métrologie de l'U. R. S. S. [4] proposait de prendre la valeur $20,380^\circ \text{K}$, en se basant à la fois sur les résultats obtenus par Borovik-Romanov et Strelkov [5] en 1951 et sur les résultats des autres instituts.

Moser et Otto [6] proposaient de prendre la valeur $20,38^\circ \text{K}$, en ne conservant que deux décimales; ils s'appuyaient sur les résultats de Heuse et Otto à la P. T. R. en 1931, sur les résultats du N. B. S. à Washington, et sur ceux du K. O. L. à Leyde. Pour ce dernier laboratoire, j'avais préparé un examen plus détaillé des résultats au début de 1952 [7]; je parvenais à la même conclusion que W. H. Keesom en 1942, c'est-à-dire à la valeur $20,382^\circ \text{K}$ ou $-252,768^\circ \text{C}$ pour le point d'ébullition de l'hydrogène normal.

En 1952, la température absolue du point de glace n'était pas encore fixée. Bien qu'il n'y eut pas d'objection à donner au point d'ébullition de l'hydrogène normal la valeur $20,38^\circ \text{K}$, aucune valeur en degrés Celsius ne pouvait être fixée. Le Comité Consultatif ajourna même l'adoption de la valeur $20,38^\circ \text{K}$, princi-

palement parce qu'il considérait les renseignements comme étant encore incomplets, ou tout au moins insuffisamment connus [8].

Un peu plus tard, on obtenait des renseignements non seulement sur les mesures au thermomètre à gaz effectuées en U.R.S.S., mais aussi sur les résultats de la P.S.U.

Il était donc également souhaitable d'avoir des valeurs comparables pour le point d'ébullition de l'hydrogène normal, en les recalculant à partir des résultats originaux; j'ai fait un tel calcul, en prenant pour T_0 la valeur $273,15^\circ$ K et pour B les valeurs adoptées par W. H. Keesom, ce qui m'a conduit aux résultats du tableau I, colonne *a*.

Les résultats de la colonne *a* diffèrent, dans la plupart des cas, de quelques millièmes de degré par rapport aux valeurs données par leurs auteurs et recommandées par leurs instituts (colonne *b*).

Les deux moyennes des colonnes *a* et *b* du tableau I ne diffèrent que de 0,001 deg. Hoge et Brickwedde, ainsi que Aston et Moessen employaient des réservoirs en cuivre bien protégés; Heuse et Otto, de même que Keesom, Bijl et M^{lle} Van der Horst employaient des réservoirs de verre; Borovik-Romanov et Strelkov utilisaient un réservoir de cuivre en éliminant l'espace nuisible.

POINT D'ÉBULLITION DE ⁴He. — Pour assigner une valeur au point d'ébullition de ⁴He, on peut prendre en considération les résultats suivants

TABLEAU II.

	T_{He} (°K).	T_r (°K).
Kamerlingh Onnes et Weber (1913).....	4,216	273,15
Schmidt et W. H. Keesom (1937).....	4,215 4	20,378
Berman et Swenson (1954).....	4,215	20,378
Moyenne.....	4,215 5	

A partir des résultats originaux de Kamerlingh Onnes et de Weber, on a calculé une valeur plus précise qu'il n'était possible en 1913; à cette époque, en effet, les corrections dues à la différence de pression thermomoléculaire et aux écarts du gaz à la loi des gaz parfaits n'étaient pas encore connues, ou l'étaient insuffisamment.

Schmidt et Keesom ont effectué trois séries de mesures, obtenant deux fois la valeur $4,215^\circ$ K et une fois la valeur $4,222^\circ$ K, en prenant pour le point d'ébullition de l'hydrogène $20,381^\circ$ K; ils donnaient un poids plus grand à $4,215^\circ$ K, c'est pourquoi ils recommandaient la valeur $4,216^\circ$ K, qui devient $4,215 4^\circ$ K en prenant $20,378^\circ$ K pour le point d'ébullition de l'hydrogène normal.

TABLEAU I.

			T_{H_2} (recalculée).		T_{H_2} (publiée)		
			(a)	T_r	(b)	T_r	
P.T.R.	1931	(Heuse et Otto).....	20,381°K	273,15°K	20,38°K	273,16 °K	(<i>Procès-Verbaux C.I.P.M.</i> , 23-B, 1952, p. T 60)
K.O.L.	1931	(Keesom, Bijl et Van der Horst).	20,382	273,15	20,382	273,15	(<i>Ibid.</i> , p. T 45)
N.B.S.	1939	(Hoge et Brickwedde).....	20,384	90,17	20,39	90,19	(<i>J. Res. N. B. S.</i> , 22, 1939, p. 351)
P.S.U.	1951	(Moessen et Aston).....	20,370	273,15 90,17	20,365	273,16 90,154	(<i>J. Chem. Phys.</i> , 22, 1954, p. 2096)
I.M.	1951	(Borovik-Romanov et Strelkov)..	20,375	90,17	20,380	90,19	(<i>Procès-Verbaux C.I.P.M.</i> , 23-B, 1952, p. T 31-36)
		Moyenne.....	20,378°K		20,379°K		
		ou	— 252,772°C				

Les mesures de Keesom et Walstra [9] sur une isotherme de l'hélium très voisine du point d'ébullition, ont confirmé les résultats de Schmidt et Keesom à moins de 0,003 deg.

Les données de Keller [10], obtenues sur une isotherme légèrement inférieure à 4° K, ont conduit à un résultat à peu près identique.

Jusqu'ici, il n'y a pas lieu de modifier la valeur du point d'ébullition de ^4He , recommandée par Schmidt et Keesom en 1937. Néanmoins, la valeur 4,215 5° K est en accord plus étroit avec celle que nous considérons comme la plus précise aujourd'hui pour le point d'ébullition de l'hydrogène normal. Dans l'échelle du thermomètre à tension de vapeur de ^4He soumise au Comité Consultatif de Thermométrie (Annexe T 22, p. T 188), la valeur 4,215° K est utilisée.

(Mai 1958)

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] *Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 23-B, 1952, p. T 43.
- [2] Pour plus de détails et la bibliographie, voir *Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 23-B, 1952, Annexe T 3, p. T 37.
- [3] ASTON (J. G.) et MOESSEN (G. W.), *J. Chem. Phys.*, 21, 1953, p. 948; MOESSEN (G. W.), ASTON (J. G.) et ASGAR (R. G.), *J. Chem. Phys.*, 22, 1954, p. 2096.
- [4] *Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 23-B, 1952, Annexe T 1, p. T 30.
- [5] *Ibid.*, Annexe T 2, p. T 32.
- [6] *Ibid.*, Annexe T 5, p. T 57.
- [7] *Ibid.*, Annexe T 3, p. T 37.
- [8] *Ibid.*, Annexe T 12, p. T 123.
- [9] KEESOM (W. H.) et WALSTRA (W. K.), *Commun.* n° 260 c.
- [10] KELLER (W. E.), *Phys. Rev.*, 97, 1955, p. 1; *Phys. Rev.*, 98, 1955, p. 1571.

ANNEXE T 6

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Allemagne)

ÉCART ENTRE L'ÉCHELLE INTERNATIONALE
DE TEMPÉRATURE
ET L'ÉCHELLE THERMODYNAMIQUE
AU-DESSUS DU POINT D'ÉBULLITION DU SOUFRE,
D'APRÈS LES PLUS RÉCENTES MESURES
AU THERMOMÈTRE A GAZ

Par H. MOSER, J. OTTO et W. THOMAS

(Traduction)

Une nouvelle détermination du point de l'or au thermomètre à gaz, effectuée à la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, a donné la valeur $1064,76 \pm 0,1^{\circ} \text{C}$ [1]. Cette valeur a été obtenue en faisant varier considérablement les conditions de mesure, de façon à exclure toute erreur systématique importante. C'est ainsi qu'à côté de la nouvelle méthode « à température du réservoir constante », on a appliqué aussi les méthodes à volume constant et à pression constante habituellement employées jusqu'ici. Avec cinq gaz (N_2 , A, CO_2 , Kr et Xe), on a effectué des mesures pour deux valeurs différentes de la pression, de telle sorte que l'extrapolation au gaz parfait (pression nulle) était possible, même sans connaître les deux coefficients du viriel de ces gaz. A la différence des mesures antérieures, le réservoir à double paroi en quartz du thermomètre à gaz était immergé dans l'or en fusion, conditions dans lesquelles les valeurs des points de solidification et de fusion étaient concordantes. On s'assurait de cette manière que le réservoir du thermomètre à gaz prenait réellement la température de l'or en fusion.

On éliminait ainsi les erreurs systématiques qui pouvaient exister dans les procédés utilisés antérieurement, consistant à relier au point de l'or par un thermocouple le réservoir du ther-

momètre à gaz (dans l'atmosphère d'un four électrique). De plus, on a fait varier la grandeur du réservoir du thermomètre à gaz et le volume de l'espace nuisible. On a veillé aussi à l'influence des effets d'adsorption et de désorption qui auraient dû se manifester quand on faisait varier la nature du gaz et la méthode de mesure. L'ensemble de ces diverses influences n'affectait que d'une incertitude inférieure à $\pm 0,1$ degré le résultat final $t_{Au} = 1064,76^\circ \text{C}$, de telle sorte que cette valeur paraît bien assurée en ce qui concerne les erreurs systématiques.

La température du point de l'or étant fixée internationalement à 1063°C , il résulte des mesures mentionnées ci-dessus un écart de $1,76$ deg entre l'Échelle thermodynamique et l'Échelle Internationale de Température (1948). Afin d'établir à quelle température plus basse l'écart débute, d'autres mesures au thermomètre à gaz ont été effectuées avec le même appareillage aux points du soufre, de l'antimoine et de l'argent; un résultat provisoire de ces mesures est donné au tableau I [2]. Comme pour le point de l'or, le réservoir du thermomètre à gaz plongeait dans le métal en cours de fusion ou de solidification pour les points de l'antimoine et de l'argent; pour le point d'ébullition du soufre il baignait dans la vapeur.

TABLEAU I.

Résultats des mesures au thermomètre à gaz.

Point fixe.	Température de solidification (°C).	Température de fusion (°C).	Moyenne (°C).	$t_{\text{int } 1948}$ (°C).	$t_{\text{th}} - t_{\text{int } 1948}$ (deg).
Température d'ébullition normale du soufre (point du soufre).....	-	-	444,66	444,60	+ 0,06
Température de solidification de l'antimoine (point de l'antimoine).....	630,70	-	630,70	630,48*	+ 0,22
Température de solidification et de fusion de l'argent (point de l'argent).....	962,15	962,17	962,16	960,8	+ 1,36
Température de solidification et de fusion de l'or (point de l'or).....	1064,76	1064,76	1064,76	1063,0	+ 1,76

*Température de solidification mesurée sur le même échantillon d'antimoine avec un thermomètre à résistance de platine, suivant les prescriptions de l'Échelle Internationale de Température de 1948. On avait $R_{100}/R_0 = 1,3911$ et $(R_S - R_0)/(R_{100} - R_0) = 4,2176$.

Le caractère provisoire des valeurs mesurées au thermomètre à gaz, à l'exception de celle du point de l'or, provient du fait qu'il n'a pas encore été possible de mesurer directement le coefficient de dilatation du quartz utilisé. Le coefficient de dilatation moyen du quartz employé pour les calculs était celui que donne Randall [3]. En admettant même que ce coefficient soit faux d'en-

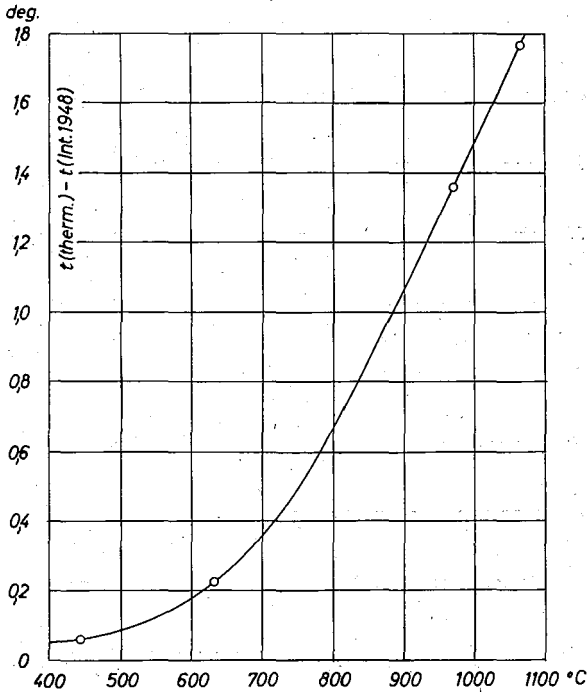


Fig. 1. — Écart de l'Échelle Internationale de Température par rapport à l'échelle thermodynamique, d'après de nouvelles mesures au thermomètre à gaz.

viron 5 %, les températures des points du soufre, de l'antimoine et de l'argent ne seraient modifiées respectivement que de 0,03, 0,04 et 0,09 deg. Une nouvelle détermination absolue de la dilatation du quartz qui constitue le réservoir du thermomètre à gaz est actuellement en préparation. L'incertitude des mesures au thermomètre à gaz, qui ne dépasse pas quelques centièmes de degré au point du soufre, reste encore inférieure à $\pm 0,1$ deg au point de l'or.

A la figure 1, les différences $t_{th} - t_{int. 1948}$ données au tableau I sont représentées graphiquement en fonction de la température.

A la figure 2, les courbes I et II représentent, en fonction de la

température, les différences entre les températures mesurées sur les mêmes échantillons de métal au thermomètre à gaz et avec un thermomètre à résistance de platine (voir la note qui suit le tableau I). On a admis pour ces courbes une extrapolation jusqu'au point de l'or de la formule quadratique du thermomètre à

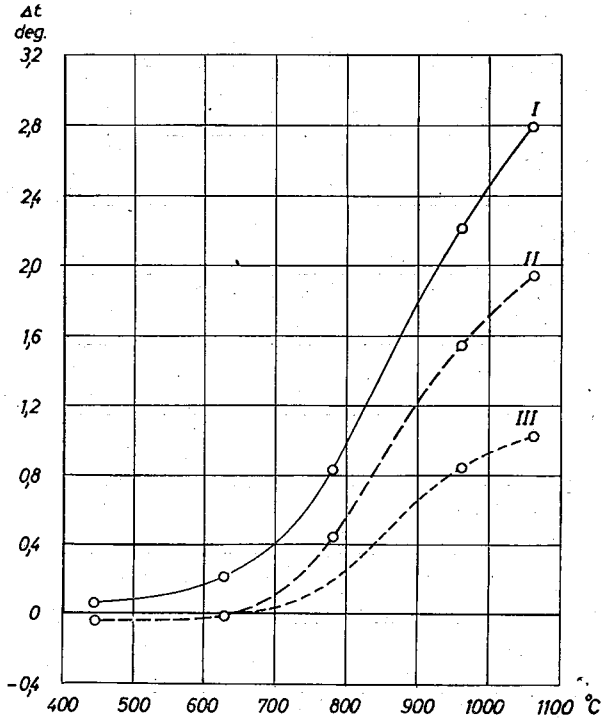


Fig. 2. — Différences entre les températures mesurées par un thermomètre à résistance de platine et les températures thermodynamiques ou internationales.

I, $t_{th} - t_{Pl(444,60)}$;

II, $t_{th} - t_{Pl(444,70)}$;

III, $t_{int 1948} - t_{Pl(444,60)}$;

t_{Pl} , température mesurée au thermomètre à résistance de platine.

résistance, les constantes étant déterminées aux points de glace, d'ébullition de l'eau et du soufre. Les courbes I et II ont été établies en admettant pour le point du soufre les valeurs 444,60° C et 444,70° C. On voit que la valeur mesurée à titre de contrôle avec l'eutectique argent-cuivre à 779° C se place bien sur la courbe. La courbe III montre les écarts entre les températures du même thermomètre à résistance de platine et l'Échelle Internationale de Température de 1948.

Aux tableaux II et III figurent les résultats des nouvelles mesures au thermomètre à gaz aux points du soufre, de l'argent et de l'or, comparés à ceux de mesures remontant à 1914, mesures qui étaient jusqu'à maintenant déterminantes pour la fixation internationale de la température de ces points fixes. Les valeurs mesurées avant 1915 ont été rattachées au gaz parfait à l'aide des corrections indiquées par F. Henning [9].

TABLEAU II.

Résumé des mesures du point du soufre au thermomètre à gaz.

Observateurs.	Date.	Gaz.	Nature du réservoir.	Méthode *.	t_{th} (760 mm Hg) (°C).
Holborn et Henning [4].....	1911	He, H ₂	verre	ν	444,56
		N ₂	quartz	ν	444,54
Day et Sosman [3].....	1912	N ₂	Pt-Rh	ν	444,54
Chappuis [6].....	1914	N ₂	quartz	ν	444,59
Eumorfopoulos [7].....	1914	N ₂	quartz	p	444,64
Blaisdell et Kaye [8].....	1941	N ₂	quartz	ν	444,72
Moser, Otto et Thomas.....	1958	N ₂ , A	quartz	t_g	444,66

* ν = volume constant; p = pression constante; t_g = température du réservoir constante.

TABLEAU III.

Résumé des mesures des points de l'argent et de l'or au thermomètre à gaz.

Observateurs.	Date.	Gaz.	Nature du réservoir.	Méthode.	t_{Ag} (°C).	t_{Au} (°C).	$t_{Au} - t_{Ag}$	
							therm. à gaz (deg).	pyrom. optique (deg).
Holborn et Day [10]...	1900	N ₂	Pt-Ir	ν	961,8	1 063,8	102,0	102,3
Day et Sosman [11]..	1914	N ₂	Pt-Rh	ν	960,3	1 062,7	102,4	102,1
Oishi, Awano et Mochizuki [12]....	1956	N ₂	quartz	ν	961,28	1 063,69	102,41	102,3
Moser, Otto et Thomas.....	{ 1957 } { 1958 }	{ N ₂ , A* }	{ quartz quartz }	{ ν t_g }	{ 962,16 962,16 }	{ 1 064,76 1 064,76 }	{ 102,60 102,60 }	{ 102,5 102,5 }
Échelle Inter- nationale.....	1948	-	-	-	960,8	1 063,0	102,2	102,2

*Le point de l'or a été également mesuré avec CO₂, Kr et Xe.

Dans la dernière colonne du tableau III figurent les différences $t_{Au} - t_{Ag}$ obtenues par C. Tingwaldt et H. Kunz [13] à

la suite de mesures au pyromètre optique pour la longueur d'onde $\lambda = 0,6547 \mu$, différences calculées en prenant pour le point de l'or la valeur indiquée par chaque observateur. L'incertitude sur ces différences est estimée à $\pm 0,25$ deg.

Résultats. — Les nouvelles mesures au thermomètre à gaz montrent que l'écart qui existe au point de l'or entre les échelles de température internationale et thermodynamique commence déjà au point du soufre, dont on a trouvé pour la température thermodynamique la valeur $444,66^\circ \text{C}$. L'exactitude de cette valeur (provisoire) n'est pas encore suffisamment grande pour motiver à elle seule une demande d'augmentation, déjà réclamée par ailleurs, de $444,60^\circ \text{C}$ à $444,70^\circ \text{C}$ de la température internationale du point du soufre. Cette augmentation ne peut se justifier qu'en tenant compte de la valeur de Blaisdell et Kaye [8] ($t_s = 444,72^\circ \text{C}$) et de nos propres mesures effectuées avec le thermomètre à gaz au point de l'antimoine. D'après les plus récentes mesures, il est certain que ce point fixe se trouve à $0,15$ deg au moins au-dessus de la valeur donnée par le thermomètre à résistance de platine dans l'Échelle Internationale de Température (1948). Ainsi que le montre la figure 2 (courbe II), il suffit de donner à la température du point du soufre dans l'Échelle Internationale de Température la valeur $444,70^\circ \text{C}$ pour réaliser l'accord, jusqu'au point de l'antimoine, des échelles de température internationale et thermodynamique, à l'incertitude près des plus récentes mesures au thermomètre à gaz.

Au-dessus du point de l'antimoine, l'écart entre les deux échelles croît en même temps que la température (*fig. 1*). Nous n'avons pas encore étudié jusqu'à quel point l'Échelle Internationale, basée sur le thermocouple platine-platine rhodié entre le point de l'antimoine et le point de l'or, peut s'accorder avec l'échelle thermodynamique suivant les nouvelles mesures au thermomètre à gaz, et quelle formule est la mieux appropriée. L'échelle s'appuyant sur le thermomètre à résistance de platine, par extrapolation de la formule quadratique jusqu'au point de l'or, conduit, par rapport à l'échelle thermodynamique, aux écarts représentés à la figure 2 (courbe I). Ces écarts sont bien plus grands que ceux qui séparent actuellement l'échelle du thermomètre à résistance de platine de l'Échelle Internationale (*fig. 2*, courbe III), mais ils conduisent cependant à une courbe de forme analogue.

Finalement, nous voudrions encore dire quelques mots au sujet des écarts systématiques des mesures au thermomètre à gaz effectuées par les divers observateurs aux points de l'argent et de l'or (*voir* tableau III). Ces écarts sont à attribuer essentiellement, mais non exclusivement, à l'erreur systématique sur

la détermination de la température moyenne du réservoir du thermomètre à gaz au moyen du thermocouple, procédé qui a été employé jusqu'à présent pour toutes les mesures au thermomètre à gaz au-dessus du point du soufre, à l'exception des nôtres. Que cette cause d'erreur ait joué un rôle essentiel, en particulier dans les mesures antérieures à 1915, c'est ce que Day et Sosman [14] avaient déjà reconnu lorsqu'ils écrivaient à la page 69 de la publication fondamentale sur leurs mesures au thermomètre à gaz « ... that the greatest present uncertainty in the high-temperature gas scale arises from the lack of uniformity in an air bath, which not only leads to uncertainty as to what is the true temperature of the gas in the bulb, but also to errors in the transference by the thermoelement ».

Deux autres faits mettent également en évidence cette cause d'erreur. Si l'on compare les écarts entre les valeurs des divers observateurs au point du soufre (tableau II) — point fixe pour lequel la cause d'erreur en question n'existe pas puisque le réservoir du thermomètre à gaz baigne dans la vapeur — aux écarts des valeurs aux points de l'argent et de l'or (tableau III), on voit que ces derniers écarts sont environ dix fois plus grands que les premiers; l'accroissement de l'incertitude des mesures au thermomètre à gaz avec la température ne laisserait prévoir, à lui seul, que des écarts deux à trois fois plus grands. Ce qui marque le caractère systématique des écarts aux points de l'argent et de l'or, c'est aussi le fait que la différence $t_{Au} - t_{Ag}$ est en accord, pour tous les observateurs, avec la différence déterminée au pyromètre optique à la précision des mesures près, tandis que les valeurs absolues divergent notablement.

Les valeurs communiquées par les auteurs pour les températures thermodynamiques des points de l'argent et de l'or ($t_{Ag} = 962,16^{\circ}C$ et $t_{Au} = 1064,76^{\circ}C$) sont exemptes de l'incertitude sur la détermination de la température du réservoir du thermomètre à gaz, puisque celui-ci plonge directement dans le métal en fusion et que les mesures donnent des valeurs concordantes aux points de fusion et de solidification. En outre, de nombreuses variations des conditions de mesure ont montré qu'elles n'affectaient pas les résultats. Il importe de considérer ces deux facteurs dans une comparaison critique avec les résultats des autres observateurs.

(2 avril 1958)

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] MOSER (H.), OTTO (J.) et THOMAS (W.), *Z. Phys.*, 147, 1957, p. 76.
- [2] Les résultats définitifs seront publiés dans *Z. Phys.*
- [3] RANDALL (H. M.), *Phys. Rev.*, 30, 1910, p. 216.

- [4] HOLBORN (L.) et HENNING (F.), *Ann. Phys.*, 35, 1911, p. 761.
 - [5] DAY (A. L.) et SOSMAN (R. B.), *Ann. Phys.*, 38, 1912, p. 849.
 - [6] CHAPPUIS (P.), *Trav. Mém. Bur. Intern. Poids et Mesures*, 16, 1914.
 - [7] EUMORFOPOULOS (N.), *Proc. Roy. Soc.*, 90, 1914, p. 189.
 - [8] BLAISDELL (B. E.) et KAYE (J.), *Temperature, its measurement and control in science and industry*, New York, 1941, p. 127.
 - [9] HENNING (F.), *Temperaturmessung*, 2 Aufl., Leipzig, 1955, p. 257 et 262.
 - [10] HOLBORN (L.) et DAY (A. L.), *Ann. Phys.*, 2, 1900, p. 505.
 - [11] DAY (A. L.) et SOSMAN (R. B.), *Am. J. Science*, 29, 1910, p. 93.
 - [12] OISHI (J.), AWANO (M.) et MOCHIZUKI (T.), *J. Phys. Soc. Japan*, 11, 1956, p. 311.
 - [13] TINGWALDT (C.) et KUNZ (H.), *Optik*, 15, 1958, p. 333.
 - [14] DAY (A. L.) et SOSMAN (R. B.), *High Temperature Gas Thermometry*, Washington, 1911, p. 69-70.
-

ANNEXE T 7

Tokyo Institute of Technology (Japan)

NOTE SUR LA RÉALISATION DU POINT DE L'OR

Par J. OISHI et M. AWANO

(Traduction)

En 1956, nous avons publié un article « New determination of the temperature of gold and silver points on the thermodynamic temperature scale », dans lequel nous avons donné la valeur $T_{Au} = 1336,84^{\circ} K$ ($t_{Au} = 1063,69^{\circ} C$) au point de solidification de l'or [1]. En 1957, Moser, Otto et Thomas [2], de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, ont obtenu $T_{Au} = 1337,91^{\circ} K$ ($t_{Au} = 1064,76^{\circ} C$), soit une différence de 1 degré environ entre les deux résultats, alors que l'erreur affectant chaque valeur est estimée à 0,1 degré.

La méthode de mesure que nous avons employée était celle du thermomètre à gaz à volume constant; celle qui a été utilisée à la P. T. B. était la méthode nouvelle, dite « à température du réservoir constante », qui semble bien convenir aux températures élevées.

Dans les mesures au thermomètre à gaz par la méthode classique, dans laquelle le réservoir du thermomètre est porté de $0^{\circ} C$ (ou toute autre température de référence) à la température élevée à mesurer, il se produit des phénomènes de diffusion et de dégagement gazeux au niveau des parois du réservoir en silice. Ayant observé une légère augmentation de la masse du gaz contenu dans le réservoir du thermomètre, même après un séjour de plusieurs heures à température élevée, nous avons estimé que le gaz se souillait par diffusion de l'atmosphère extérieure à travers les parois du réservoir. Mais nous nous sommes aperçus, au cours de mesures plus récentes, que le phénomène se produisait de façon à peu près analogue en utilisant un réservoir en silice à double paroi, entre lesquelles on pouvait maintenir, avec le même gaz, une pression constamment égale à celle qui régnait dans le réservoir. Nous sommes maintenant portés à reconnaître que les

gaz libérés des parois doivent être la principale cause de l'accroissement de masse du gaz, comme Moser *et al.* le pensaient. En fait, une analyse au spectrographe de masse a montré l'existence d'hydrogène dans le réservoir du thermomètre. On a trouvé que la correction à apporter à la valeur du point de l'or était de + 0,004 deg [1], en admettant que l'augmentation de pression dans le réservoir soit due uniquement à la présence d'anhydride carbonique. Il est clair que la correction est encore moindre pour un gaz (l'hydrogène par exemple) autre que l'anhydride carbonique.

On devrait d'abord considérer que l'espace nuisible peut être une source d'erreur importante, en cas de désaccord entre les résultats d'observations au thermomètre à gaz faites dans différents laboratoires. Dans nos expériences [1], le volume total des espaces nuisibles, déterminé par pesée du mercure qu'ils pouvaient contenir, était 1,126 cm³. Dans des mesures plus récentes par la méthode de volumétrie gazeuse, le volume obtenu ne différait que de 0,002 cm³; ces deux valeurs sont en accord dans les limites de l'erreur de mesure qui n'affecterait la température du point de l'or que de 0,05 deg.

Des mesures (non encore publiées) effectuées avec le même thermomètre à azote, mais en remplaçant le réservoir d'origine de 206 cm³ à simple paroi par un réservoir en silice de 123 cm³ à double paroi, ont donné pratiquement le même résultat que précédemment

$$T_{Au} = 1\,336,88^{\circ}\text{K} \quad (t_{Au} = 1\,063,73^{\circ}\text{C}),$$

la pression au point de l'or étant 760 mm Hg et le volume du réservoir environ moitié moins grand pour un même espace nuisible. Ce résultat laisse à supposer que le volume de l'espace nuisible a été déterminé correctement.

Pour le point de l'argent, on avait obtenu $T_{Ag} = 1\,234,43^{\circ}\text{K}$ ($t_{Ag} = 961,28^{\circ}\text{C}$) au cours des premières mesures avec le réservoir à paroi simple et sous 760 mm Hg, et $T_{Ag} = 1\,234,35^{\circ}\text{K}$ ($t_{Ag} = 961,20^{\circ}\text{C}$) au cours des récentes mesures avec le réservoir à double paroi et sous 700 mm Hg. La concordance de ces deux résultats à des pressions différentes permet également de penser que les phénomènes de diffusion et de désorption sont de faible importance.

Nous ne pensons pas non plus qu'il y ait lieu d'attacher de l'importance au fait que le réservoir du thermomètre soit directement immergé dans le métal en cours de solidification, comme l'ont fait Moser *et al.*, ou qu'il soit placé dans un four muni d'un thermostat contrôlé par thermocouple.

Nous ne pouvons pas encore trouver une explication au désaccord entre les résultats des deux laboratoires en ce sens que,

d'une part, nos deux déterminations avec des réservoirs de types différents donnent les mêmes résultats, et que, d'autre part, les valeurs de Moser *et al.* apparaissent dignes de confiance étant donné qu'elles ont pour elles l'originalité de la méthode expérimentale et la grande variété des conditions de mesure.

Une détermination utilisant la méthode à température du réservoir constante est actuellement en cours.

(10 avril 1958)

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] OISHI (J.), AWANO (M.) et MOCHIZUKI (T.), *J. Phys. Soc. Japan*, 11, 1956, p. 311.
[2] MOSER (H.), OTTO (J.) et THOMAS (W.), *Z. f. Phys.*, 147, 1957, p. 76.
-

ANNEXE T 8

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Allemagne)

LE THERMOCOUPLE PLATINE-PLATINE RHODIÉ
DANS L'ÉCHELLE INTERNATIONALE
DE TEMPÉRATURE

Par H. MOSER et P. RAHLFS

(Traduction)

Comme on le sait, l'Échelle Internationale de Température entre les points de l'antimoine et de l'or est réalisée à l'aide d'un thermocouple de platine-platine rhodié à 10 %, la force électromotrice étant reliée à la température par une équation de forme quadratique. Depuis quelque temps déjà, à la suite de recherches effectuées au National Bureau of Standards ⁽¹⁾, des doutes sont apparus sur la validité d'une formule quadratique; il est maintenant possible de contrôler une telle formule de façon plus précise en prenant les récentes valeurs obtenues au thermomètre à gaz (Annexe T 6, p. T 67) pour les points de l'antimoine, de l'argent et de l'or et pour l'eutectique argent-cuivre.

Dans ce but, on a comparé dans un bain d'étain bien agité, entre 530 et 960° C, trois thermocouples Pt — Pt-Rh ⁽²⁾ répondant aux prescriptions de l'Échelle Internationale de Température de 1948, avec un thermomètre à résistance de platine dont

⁽¹⁾ *Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 19, 1939, Annexe T 3, p. T 80.

⁽²⁾ Les forces électromotrices de ces trois thermocouples ne diffèrent que de quelques microvolts. Comme les résultats des mesures individuelles sur chaque thermocouple n'ont pas montré de différences importantes par rapport aux résultats moyens, toutes les données rassemblées dans ce travail ont été rapportées à la moyenne des trois thermocouples. On avait :

$$E_{Au} = 10\,325,5 \mu V; \quad E_{Au} - E_{As} = 1\,186,4 \mu V;$$

$$E_{Au} - E_{Sb} = 4\,782,5 \mu V;$$

et pour le thermomètre à résistance de platine $R_{100}/R_0 > 1,391$.

les écarts par rapport aux températures thermodynamiques étaient connus (courbe A de la figure 1, identique à la courbe I

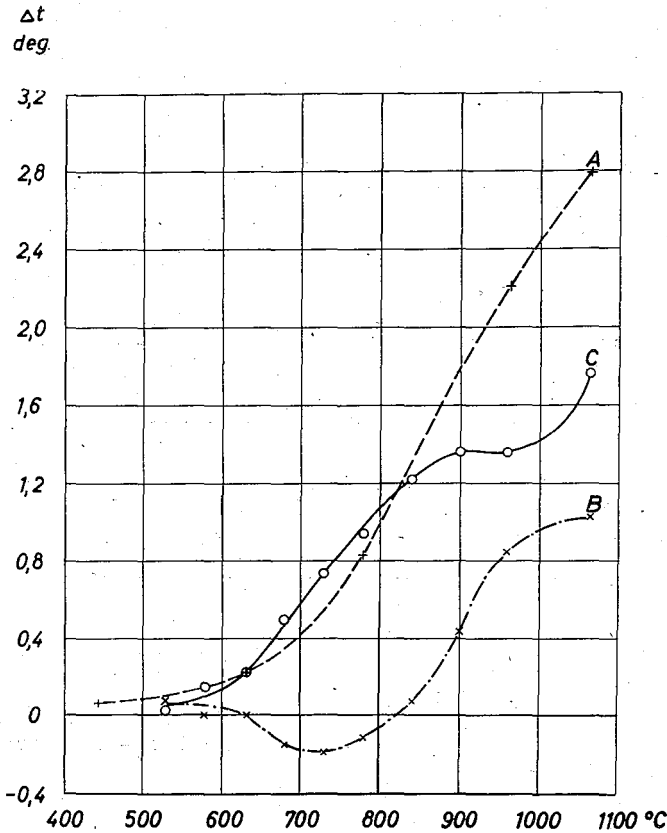


Fig. 1. — Différences entre les températures mesurées au thermomètre à gaz, au thermomètre à résistance de platine et au thermocouple platine-platine rhodié.

A, $t_{th} - t_{Pt(444,60)}$; B, $t_e - t_{Pt(444,60)}$; C, $t_{th} - t_e$.

t_{th} , température thermodynamique mesurée au thermomètre à gaz (voir Annexe T 6).

$t_{Pt(444,60)}$, température mesurée au thermomètre à résistance de platine, par extrapolation de la formule quadratique ($t_s = 444,60^\circ C$).

t_e , température mesurée au thermocouple platine-platine rhodié, suivant les prescriptions de l'Échelle Internationale de Température de 1948.

de la figure 2 de l'Annexe T 6). Si l'on admet, comme cela est très probable, que l'on peut interpoler graphiquement sur cette courbe

entre les valeurs mesurées aux points fixes, il est également possible d'obtenir, pour les valeurs intermédiaires des thermocouples, les écarts par rapport aux températures thermodynamiques. Aux températures des points fixes, les valeurs de la force électromotrice mesurées directement aux points de solidification et celles mesurées indirectement dans le bain d'étain concordent

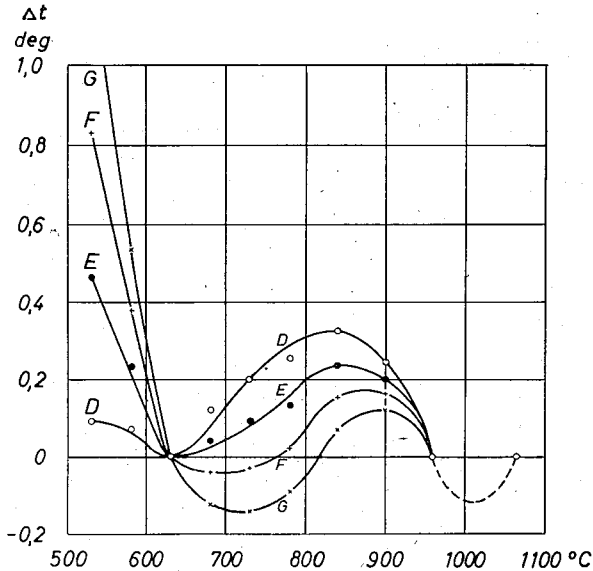


Fig. 2. — Différences entre les températures mesurées au thermomètre à gaz et au thermocouple platine-platine rhodié ($t_{th} - t'_0$) pour différentes formules d'interpolation.

Pour la détermination des constantes des différentes formules, on a utilisé ici les nouvelles valeurs des températures déterminées au thermomètre à gaz pour les points de l'antimoine, de l'argent et de l'or (voir Annexe T 6).

Les formules suivantes ont été employées :

$$\begin{aligned} D, & e = a + bt + ct^2, \\ E, & e = at + bt^2 + ct^3 - 200, \\ F, & e = at + bt^2 + ct^3 - 100, \\ G, & e = at + bt^2 + ct^3. \end{aligned}$$

entre elles à mieux que $\pm 0,5 \mu V$, ce qui correspond à $\pm 0,05$ deg. Les résultats des mesures sont représentés graphiquement aux figures 1 et 2.

Résultats. — La courbe B (fig. 1), obtenue par des mesures directes, représente, du point de l'antimoine au point de l'or, les

écarts entre les températures mesurées avec un thermomètre à résistance de platine et l'Échelle Internationale de Température de 1948. On voit qu'une simple interpolation entre les points de l'antimoine et de l'argent, comme celle que l'on a pu faire sur la courbe III (*fig. 2*, Annexe T 6) sans connaître encore les valeurs intermédiaires, n'est plus admissible. Il en est de même pour l'interpolation sur la courbe de la figure 1 de l'Annexe T 6, courbe qui, d'après les nouvelles mesures dans le domaine compris entre les points de l'antimoine et de l'or, doit être remplacée par la courbe C de la figure 1.

La forme irrégulière des courbes B et C ne pouvant être attribuée aux erreurs de mesure, seules les deux causes suivantes peuvent expliquer les anomalies observées : 1° la formule quadratique du thermocouple peut ne pas être rigoureusement valable; 2° les températures des points de solidification de l'antimoine, de l'argent et de l'or dans l'Échelle Internationale de Température de 1948, qui ont été employées pour la détermination des constantes de cette formule, peuvent être erronées. Sur la base des récentes mesures au thermomètre à gaz (Annexe T 6) on doit tenir compte de la dernière cause, de sorte qu'une décision sur la validité de la formule quadratique pour le thermocouple platine-platine rhodié n'est pas possible d'après les seules mesures représentées à la figure 1.

En adoptant pour la détermination des constantes les nouvelles valeurs obtenues au thermomètre à gaz (Annexe T 6), dont l'incertitude est estimée à $\pm 0,1$ deg, on trouve également entre les points de l'antimoine et de l'argent, en utilisant encore la formule quadratique pour le thermocouple, des écarts atteignant 0,34 deg (courbe D, *fig. 2*). Ces écarts ne peuvent plus s'expliquer uniquement par l'incertitude sur les points fixes et par les erreurs de mesure; ils prouvent que la formule quadratique n'est pas rigoureusement valable. Diverses formules cubiques d'interpolation (courbes E, F, G de la figure 2) ne fournissent pas non plus de résultats satisfaisants. En fait, entre les points de l'antimoine et de l'argent les écarts sont plus faibles mais, par contre, les courbes présentent, au-dessous du point de l'antimoine, une forte pente qui est indésirable au voisinage du passage du thermomètre à résistance de platine au thermocouple platine-platine rhodié.

De telles difficultés ne se produisent pas en employant le thermomètre à résistance de platine jusqu'au point de l'or. Les écarts du thermomètre à résistance par rapport à l'échelle thermodynamique, représentés à la courbe A (*fig. 1*), ont une forme relativement simple. Pour autant que l'on puisse en juger à l'heure actuelle, on peut obtenir, à l'aide d'une simple formule cubique, un accord avec l'échelle thermodynamique meilleur qu'avec le

thermocouple. Il faudrait donc, à l'avenir, s'efforcer de remplacer le thermocouple platine-platine rhodié par le thermomètre à résistance de platine pour la réalisation de l'Échelle Internationale de Température ⁽³⁾.

(17 juin 1958)

⁽³⁾ *Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 24, 1954, p. T 122.

Central Inspection Institute of Weights and Measures (Japan)

SUR LA STABILITÉ DE THERMOMÈTRES
A RÉSISTANCE DE PLATINE PORTÉS A 1100° C

Par R. YONEDA, S. NAKAYA et H. UCHIYAMA

(Traduction)

Nous étudions actuellement la possibilité d'utiliser des thermomètres à résistance de platine jusqu'au point de l'or. Dans une première étude, nous avons contrôlé la stabilité de la résistance à 0° C, après un séjour à la température de 1100° C, de deux thermomètres de types différents construits spécialement.

Les caractéristiques principales des thermomètres à résistance de platine utilisés dans cette étude sont les suivantes :

Thermomètre.	Diamètre du fil.	Résistance à 0° C.	Tube de protection.
N° 1.....	0,25 mm	2,0 Ω	quartz fondu
N° 2.....	0,5	0,15	quartz fondu

Après un recuit préalable, ces deux thermomètres ont été maintenus trois ou quatre heures à la température de 1100° C, puis leurs résistances à 0° C ont été mesurées, et ainsi de suite jusqu'à une durée totale de 40 heures à 1100° C.

Malheureusement le thermomètre N° 2 s'est cassé au cours de cette opération; mais, pour le N° 1, nous avons pu obtenir onze valeurs de sa résistance $R_{0,n}$ ($n = 1, 2, \dots, 11$) à 0° C; nous avons calculé le rapport $\Delta R/R_0$, où ΔR est la différence entre la plus grande et la plus petite valeur des $R_{0,n}$ et R_0 la moyenne des $R_{0,n}$; on a trouvé pour $\Delta R/R_0$ une valeur de l'ordre de $1,5 \cdot 10^{-5}$.

Cette étude préliminaire se poursuit; mais, d'après les résultats obtenus jusqu'à présent, il semble possible que le thermomètre à résistance de platine, d'une construction convenable, puisse être utilisable pour la mesure des températures entre les points de l'antimoine et de l'or.

(23 mai 1958)

NOUVELLE PREUVE
DE LA STABILITÉ DU POINT DU ZINC
ET RÉSULTATS
DE L'ANALYSE THERMIQUE DE HUIT ÉCHANTILLONS
DE ZINC DE GRANDE PURETÉ

Par E. H. McLAREN

(Traduction)

Depuis 1954, on a obtenu de nouveaux renseignements sur la stabilité de la température du palier de solidification du zinc très pur; on a effectué une importante comparaison de la température du palier de solidification et de l'intervalle de température de fusion de huit échantillons de zinc très pur, chacun des quatre pays suivants ayant fourni deux échantillons : États-Unis d'Amérique, U. R. S. S., Royaume-Uni et Canada. Des comptes rendus détaillés de ces recherches ont été publiés par ailleurs [1, 2, 3].

Ce Rapport donne un bref résumé des résultats obtenus dans notre Laboratoire à la suite des travaux effectués conformément à la Proposition 3 du Comité Consultatif de Thermométrie de 1954 [4].

STABILITÉ DE LA TEMPÉRATURE DU PALIER DE SOLIDIFICATION DU ZINC S. P. — En 1954, nous avons montré qu'il est possible, avec des techniques appropriées, d'obtenir des paliers de température très stables sur les courbes de refroidissement de certains échantillons de zinc très pur [5]. Les paliers ont une durée qui est fonction de la vitesse de refroidissement et leur température est reproductible à $\pm 0,0002$ degré près environ. Quand on utilise du zinc de pureté suffisante, il n'est pas possible de trouver une différence entre les températures du palier de solidification de divers

échantillons. Il semble clair maintenant que la température du palier devrait être considérée comme le point de solidification.

Le meilleur indice de la stabilité à long terme de la température de solidification du zinc très pur réside dans le fait que l'intervalle de température de fusion pour du zinc New Jersey S. P. n'exécède pas 0,001 degré pour des échantillons neufs et des échantillons qui ont été maintenus en fusion près d'un an. En contrôlant l'intervalle de fusion de l'échantillon, il est donc possible de surveiller continuellement les effets thermiques des impuretés et de se prémunir ainsi contre un abaissement de la pureté et contre le changement subséquent du point de solidification. Quand cette

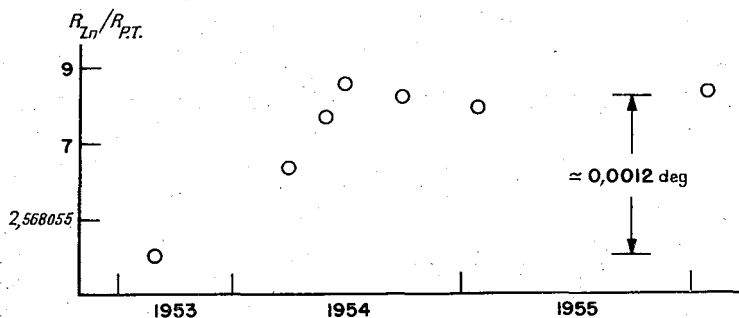


Fig. 1. — Reproductibilité à long terme de $R_{Zn}/R_{P.T.}$ déterminé avec le thermomètre S 156 et du zinc S. P.

précaution est prise, les mesures à long terme sur la reproductibilité du point de solidification du zinc très pur constituent un critère de la reproductibilité et de la stabilité de tout l'appareillage de mesure.

La figure 1 montre les résultats obtenus avec un seul thermomètre à résistance de platine sur le rapport $R_{Zn}/R_{P.T.}$ de zinc New Jersey S. P., pour 78 solidifications échelonnées sur une période de trois ans. Il semble probable que l'augmentation observée sur le rapport $R_{Zn}/R_{P.T.}$ était due à un changement des coefficients thermiques du fil de platine lors d'un recuit prolongé à 430° C environ. De septembre 1953 à juillet 1954, ce thermomètre a été utilisé des centaines d'heures au voisinage du point de solidification du zinc; depuis il a peu servi au-dessus de 330° C (voir [2]).

Des renseignements supplémentaires sur la stabilité à long terme de l'appareillage de mesure sont donnés à la figure 2, qui montre la variation du rapport $R_{Zn}/R_{P.T.}$ de six thermomètres sur un intervalle de vingt mois. Bien que quatre solidifications seulement aient été faites avec chaque thermomètre, cette figure

indique que les changements du point du zinc au cours de cette période étaient certainement inférieurs à 0,001 degré et probablement même à 0,000 3 degré. L'écart-type de ces mesures correspond à $\pm 0,000 4$ degré. Il semble que les coefficients thermiques des thermomètres S 214 et S 165 aient varié; le thermomètre S 214 a pu être trempé par refroidissement à la température de l'azote liquide.

Avant toute mesure du point du zinc, les thermomètres à résistance étaient recuits à 450° C environ pour faire disparaître autant que possible la résistance éventuellement créée par un écrouissage accidentel du platine. Cette technique garantit des

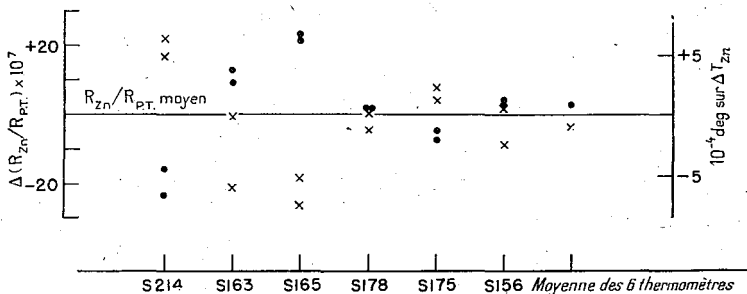


Fig. 2. — Variations, entre juin 1954 (X) et février 1956 (●), du rapport $R_{Zn}/R_{P.T.}$ déterminé pour six thermomètres à partir de deux solidifications provoquées de zinc S. P.

coefficients thermiques relativement stables pour de courtes périodes d'emploi. Quand les résistances de platine sont soumises à un régime comportant des trempes et des recuits pendant de longues périodes, les coefficients thermiques ne sont pas constants; il est très peu probable qu'une valeur unique des coefficients thermiques suffise pour un thermomètre utilisé de cette sorte.

ANALYSE THERMIQUE DE HUIT ÉCHANTILLONS DE ZINC TRÈS PUR. — En 1954, les laboratoires d'U. R. S. S. [7] et du Canada [6] attribuaient respectivement les valeurs $419,59 \pm 0,03^\circ \text{C}$ (Int. 1948) et $419,50 \pm 0,01^\circ \text{C}$ (Int. 1948) au point de solidification du zinc très pur. Il semblait probable que le désaccord provenait des difficultés rencontrées dans la réalisation du point d'ébullition du soufre dans l'Échelle Internationale de Température; cependant, un échange d'échantillons de zinc très pur fut organisé avec le laboratoire d'U. R. S. S. afin qu'une comparaison des températures de solidification détermine de façon concluante si oui ou non la différence provenait des impuretés contenues dans les échantillons de zinc russe et américain. On a inclus à

la comparaison effectuée dans notre laboratoire des échantillons de zinc très pur d'origines britannique et canadienne. Le tableau I donne l'origine des échantillons et la composition chimique communiquée par les fournisseurs.

TABLEAU I.
Analyse chimique des échantillons de zinc.

Origine.	Échan- tillon.	Proportions d'impuretés en poids (en millièmes)					As.	Total.
		Fe.	Cd.	Cu.	Pb.	Su.		
Institut de Métrologie D. I. Mendéléév, Leningrad, U.R.S.S.)	R1				mieux que R2			< 0,5
	R2	< 0,2	< 0,1	0,01	< 0,2	< 0,02		< 0,5
New Jersey Zinc Co., Palmerton, Pa., U. S. A.....)	S4	-	< 0,5	-	< 2	-		< 2
	5.7	4	0,5	0,5	1	0,5	0,04	6
The Consolidated Mining and Smelting Co., Trail, B. C., Canada.....)	C1	2	0,1	0,5	< 2	-		< 4
	C2	10	10	10	20	-		50
Imperial Smelting Corporation Ltd., London, Royaume- Uni.....)	B1	-	-	-	< 1	-		< 1
	B2	30	20	< 10	< 10	-		< 70

L'analyse thermique a été effectuée en deux parties : on a d'abord obtenu les courbes de solidification et de fusion de tous les échantillons dans des conditions thermiques variées en utilisant une technique de mesure abrégée; on a comparé ensuite les températures du palier de solidification avec la plus grande précision possible (*voir* [3]).

COURBES DE SOLIDIFICATION ET DE FUSION. — Plusieurs séries de changements d'états ont été effectuées de façon à atténuer ou à favoriser la séparation des impuretés chimiques (noyautage) par le contrôle des vitesses de refroidissement. Quelques courbes typiques de solidification et de fusion obtenues dans cette analyse sont données aux figures 3 et 4; la différence de qualité des échantillons y apparaît clairement. Un examen détaillé de ces courbes de fusion et des autres courbes permettait de faire des mesures comparatives des intervalles de température de fusion de ces échantillons; le tableau II résume quelques-unes des mesures de cet intervalle.

TABLEAU II.

Intervalle de température de fusion après des solidifications très rapides (I) et des solidifications provoquées (II).

Échantillon.	D'après les courbes (en degré)	
	I.	II.
R1.....	0,001	0,001
R2.....	0,001	0,001
S4.....	0,001	0,001
5.7.....	0,005	0,007
C1.....	0,01	0,03; 0,005*
C2.....	0,02-0,03	0,10
B1.....	0,01	0,03; 0,005*
B2.....	0,01-0,2	0,04

* Intervalle de fusion des noyaux très purs de ces échantillons, après solidification provoquée.

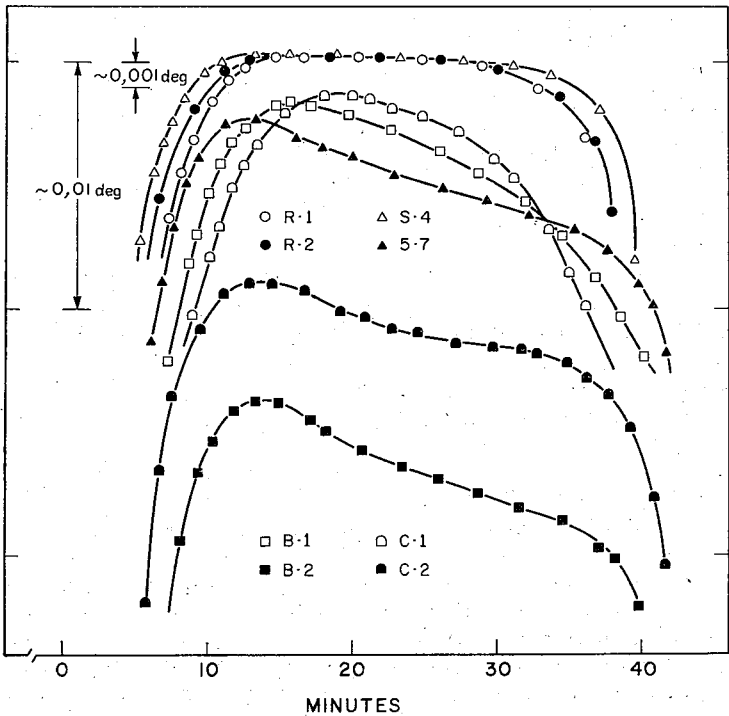


Fig. 3. — Solidifications normales rapides de tous les échantillons. Le relevé des points commence durant la récalescence.

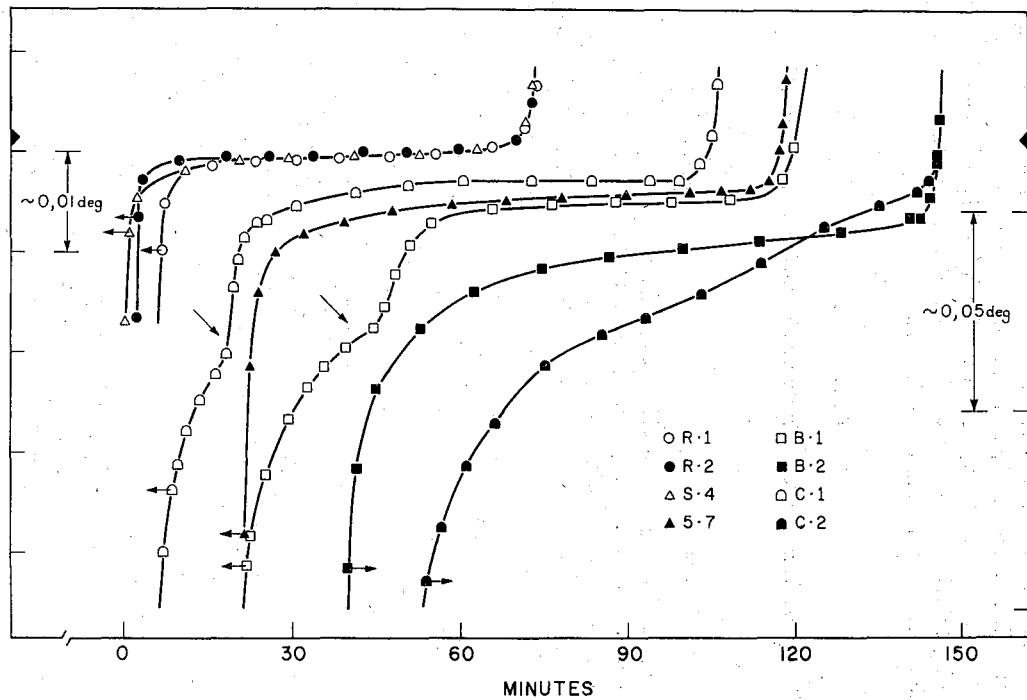


Fig. 4. — Courbes de fusion après des solidifications provoquées.

TEMPÉRATURE DU PALIER DE SOLIDIFICATION. — La deuxième partie des recherches comprenait une comparaison soignée entre *a.* la température du palier obtenue au cours de solidifications lentes provoquées de l'échantillon S4 et *b.* la température du palier obtenue au cours de solidifications analogues des sept autres alliages. On utilisait deux fours de telle sorte que S4 et l'échantillon à comparer pouvaient être solidifiés en même temps, ce qui permettait d'effectuer les mesures nécessaires en moins d'une heure sur les deux échantillons.

TABLEAU III.

Comparaison des températures du palier de solidification.

Date moyenne.	Échantillons.	Nombre de solidifications.	Rapport $R_{Zn}/R_{P.T.}$		Reproductibilité (évaluée en 0,0001 deg).		Température de palier par rapport à S4 (degré).
			Moyenne.	Écart-type.	Écart-type.	Dispersion.	
18 juil. 1957	S4; R1	20	2,568 062 27	$\pm 60 \cdot 10^{-8}$	$\pm 1,7$	6,7	- 0,000 18 0,0
		10	61 94	± 48	$\pm 1,4$	4,5	
		10	62 59	± 55	$\pm 1,6$	5,7	
25 juil. 1957	S4; R2	20	2,568 063 59	± 65	$\pm 1,9$	5,5	+ 0,000 09
		10	63 74	± 60	$\pm 1,7$	4,4	
		10	63 43	± 70	$\pm 2,0$	5,5	
21 juil. 1957	S4; R1, R2	40	2,568 062 93	± 90	$\pm 2,6$	9,0	
				Écart moyen.	Écart moyen.	Dispersion.	
10 août 1957	S4	5	2,568 061 20	$\pm 32 \cdot 10^{-8}$	$\pm 0,9$	3,7	- 0,000 35
		5	59 98	± 43	$\pm 1,2$	4,6	
14 août 1957	S4	5	2,568 061 55	± 45	$\pm 1,6$	6,0	- 0,000 54
		5	59 66	± 19	$\pm 0,7$	2,4	
18 août 1957	S4	5	2,568 061 50	± 46	$\pm 1,6$	4,3	- 0,001 6
		5	55 82	± 19	$\pm 0,7$	2,4	
22 août 1957	S4	2	2,568 061 58	± 58	$\pm 1,7$	3,3	- 0,008 3
		2	32 62	± 122	$\pm 3,4$	7,0	
24 août 1957	S4*	2	2,568 061 42	± 44	$\pm 1,3$	2,5	- 0,010 2
		2	35 78	± 44	$\pm 1,3$	2,5	

* Le rapport moyen $R_{Zn}/R_{P.T.}$ de S4 pour les 39 solidifications lentes provoquées était 2,568 062 24 avec un écart-type correspondant à $\pm 0,000 29$ deg et une dispersion de 0,001 1 deg; ces nombres montrent la stabilité de tout le système de mesure comprenant le thermomètre, le point triple et le pont.

Le déroulement des mesures s'effectuait comme suit :

le matin : Pr, Pz, P. T., Zinc (S4), Zinc (X), Pr, Pz, P. T.;

l'après-midi : Zinc (X), Zinc (S4), Pr, Pz, P. T.;

(Pr = rapport du pont; Pz = zéro du pont; P. T. = point triple de l'eau).

Pendant les mesures le point milieu de la bobine d'un seul thermomètre Meyers était immergé de 15 cm environ dans les échantillons de zinc. Une seule ampoule à point triple a été utilisée durant toute l'étude : on avait préparé un manchon de glace qui fut conservé pendant les mesures sur R1 et R2, et un autre manchon fut utilisé pour les comparaisons sur les cinq autres échantillons.

La figure 5 donne les résultats de la comparaison des températures de palier de R1 et R2 avec celles de S4 au cours de quarante solidifications lentes provoquées. Le tableau III résume les comparaisons des températures de palier de tous les échantillons.

En se basant à la fois sur la température du palier de solidification et sur l'intervalle de température de fusion, les échantillons de zinc russes sont certainement aussi purs que le zinc New Jersey S. P.; la différence de température au point de solidification du zinc rappelée ci-dessus doit donc être recherchée dans d'autres domaines de la thermométrie à résistance de précision. L'échantillon S4 a été utilisé pour la première fois en janvier 1956, et occasionnellement ensuite pour des étalonnages de thermomètres; il était extrait du four après chaque étalonnage. Les échantillons russes ont été utilisés en juillet 1957. L'accord entre les températures de solidification de ces échantillons est une preuve supplémentaire de la grande stabilité du point de solidification du zinc très pur comme repère thermométrique précis.

Depuis 1954, des températures hautement reproductibles (à $\pm 0,0002$ degré environ) ont été également obtenues à partir des courbes de solidification d'échantillons très purs de cadmium (312° C), d'étain (232° C) et d'indium (157° C). Aussi, l'ensemble de ces quatre métaux Zn, Cd, Sn, In et le point triple de l'eau, offrent des points de transport de thermomètres à résistance de platine pour des contrôles de l'échelle. Par rapport aux méthodes usuelles de comparaison des échelles de température réalisées dans plusieurs laboratoires, les métaux très purs et leurs points de solidification présentent deux avantages marqués : ils n'exigent pas la mesure et le contrôle précis de la pression à laquelle est soumis le métal pendant sa solidification, et

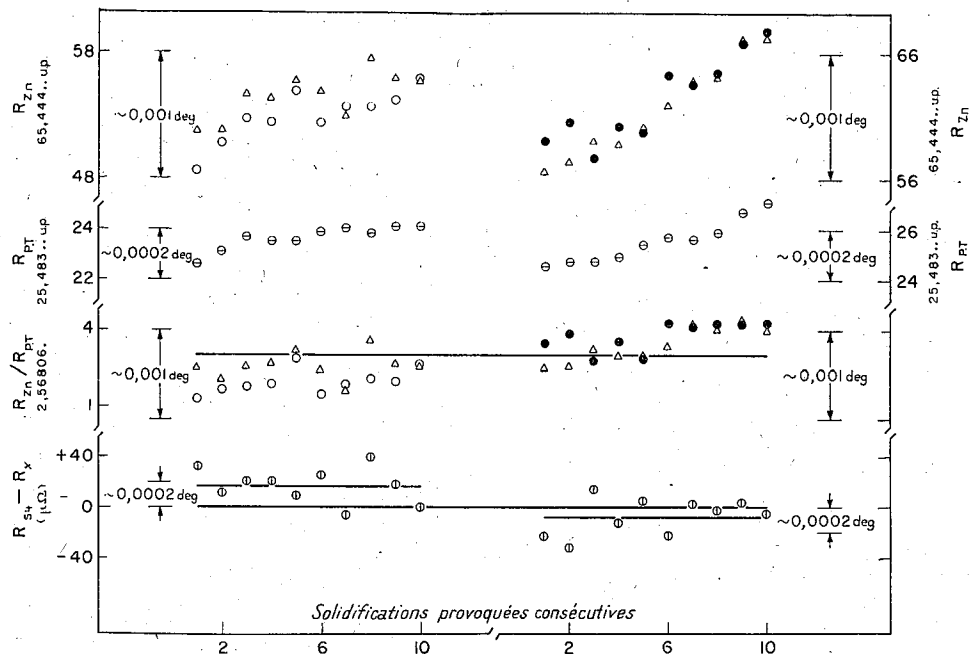


Fig. 5. — Comparaison entre les températures du palier de solidification des échantillons R1 et R2 et celles de S4.

$R_{P.T.}$, R_{Zn} sont les résistances corrigées et à courant nul du thermomètre au point triple de l'eau et au point du zinc.

R1 ○ comparé à S4 △;

R2 ● comparé à S4 △;

u.p. = unité du pont de mesure.

l'on peut facilement mesurer leur intervalle de température de fusion pour déterminer l'importance thermique des impuretés.

(Février 1958)

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] McLAREN (E. H.), *Can. J. Phys.*, 35, 1957, p. 78.
 - [2] McLAREN (E. H.), *Can. J. Phys.*, 35, 1957, p. 1086.
 - [3] McLAREN (E. H.), *Can. J. Phys.*, 36, 1958, p. 585.
 - [4] *Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 24, 1954, p. T 49.
 - [5] McLAREN (E. H.), *Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 24, 1954, p. T 152.
 - [6] McLAREN (E. H.), *Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 24, 1954, p. T 162.
 - [7] *Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 24, 1954, p. T 122.
-

ANNEXE T 11

National Physical Laboratory (Royaume-Uni)

LE POINT DE SOLIDIFICATION DU ZINC
EN TANT QUE POINT FIXE PRIMAIRE
DE L'ÉCHELLE INTERNATIONALE
DE TEMPÉRATURE

(Traduction)

Suivant la proposition faite par le Comité Consultatif de Thermométrie en 1954, le National Physical Laboratory a étudié le point de solidification du zinc et sa reproductibilité vis-à-vis de celle du point d'ébullition du soufre; cette étude a été poursuivie en vue de fournir un témoignage pour ou contre la substitution du point de solidification du zinc au point d'ébullition du soufre, comme point fixe primaire de l'Échelle Internationale de Température. La conclusion est la suivante : l'emploi du point de solidification du zinc conduirait à une précision plus grande dans la réalisation de l'Échelle. Les expériences qui servent de fondement à cette conclusion sont décrites ci-après.

Quatre lingots de zinc ont été utilisés au cours de cette étude; deux d'entre eux ont été préparés à partir de zinc fourni par la « New Jersey Zinc Company », la pureté de l'un étant celle de la qualité commerciale (C. P. 99,999 3 %) et la pureté de l'autre étant celle de la qualité supérieure (S. P. 99,999 7 %); le troisième lingot a été obtenu à partir de zinc très pur fourni par l'« Imperial Smelting Corporation », Avonmouth, England (I.S.C., 99,999 7 %) et le quatrième à partir de zinc fourni par la Physikalisch-Technische Bundesanstalt (G. 99,997 %). Les analyses communiquées par les fournisseurs sont données au tableau I; elles ont servi à fixer les valeurs du degré de pureté des lingots indiquées ci-dessus entre parenthèses. Le tableau I contient également les résultats des analyses spectrographiques effectuées par Johnson, Matthey and Co sur les lingots tels qu'ils ont été utilisés.

TABLEAU I.

Analyse des échantillons de zinc.

Lingot.	N. J. (C. P.) %	I. S. C. %	N. J. (S. P.) %	G. %
Analyse des fournisseurs	Pb 0,000 1	Pb \leq 0,000 1	Pb 0,000 2	Pb 0,000 9
	Cd 0,000 05	Cd \leq 0,000 1	Cd 0,000 05	Cd 0,000 8
	Fe 0,000 4	Cu \leq 0,000 1	Cu <i>xf</i>	Cu 0,000 1
	Cu 0,000 05		Mg <i>xf</i>	Fe 0,000 3
	As 0,000 004		Si <i>xf-vf</i>	Sn 0,000 2
	Sn 0,000 05			
Analyse des Laboratoires de recherche « Johnson Matthey »	Cd $<$ 0,000 1	Cd $<$ 0,000 1	Cd n. d.	
	Ca $<$ 0,000 1	Ca $<$ 0,000 1	Ca $<$ 0,000 1	
	Cu 0,000 3	Cu 0,000 2	Cu 0,000 2	
	Fe 0,000 4	Fe 0,000 1	Fe 0,000 1	
	Pb n. d.	Pb n. d.	Pb 0,000 2	
	Mg $<$ 0,000 1	Mg $<$ 0,000 1	Mg $<$ 0,000 1	
	Si $<$ 0,000 1	Si $<$ 0,000 1	Si $<$ 0,000 1	
	Ag $<$ 0,000 1	Ag $<$ 0,000 1	Ag $<$ 0,000 1	
	Na $<$ 0,000 1	Na $<$ 0,000 1	Na $<$ 0,000 1	
Sn n. d.	Sn n. d.	Sn 0,000 3		

xf = raie à peine visible; *vf* = raie légèrement plus intense; n. d. = non décelable.

Technique du point de solidification du zinc. — Les lingots de zinc employés étaient des cylindres de 35 mm de diamètre, 190 mm de hauteur, pesant 1200 g. Chaque lingot était placé dans un creuset de graphite pur, à paroi épaisse de 4 mm, muni d'un couvercle de graphite supportant un puits thermométrique axial également en graphite; ce puits, de 7 mm de diamètre intérieur et de 1,5 mm d'épaisseur de paroi, permettait une immersion du thermomètre de 150 mm à partir du centre de la bobine. Le creuset était placé dans un tube de verre, isolé thermiquement en haut et en bas avec du « silica aerogel », et suspendu dans un bain de sel en fusion agité, de telle sorte que le haut du creuset était à 190 mm environ au-dessous de la surface du bain de sel.

Les points de fusion et de solidification étaient étudiés pour chaque lingot avec deux thermomètres à résistance. Le processus pour la réalisation du point de solidification était le suivant : on stabilisait d'abord la température du bain de sel et du lingot à environ deux degrés au-dessus du point de solidification, puis on abaissait la température du bain de sel de deux degrés; quand le

thermomètre à résistance indiquait une température inférieure de 0,01 degré environ au point de solidification, on ôtait le thermomètre que l'on remplaçait par une tige froide de silice pendant une trentaine de secondes pour amorcer la solidification; on

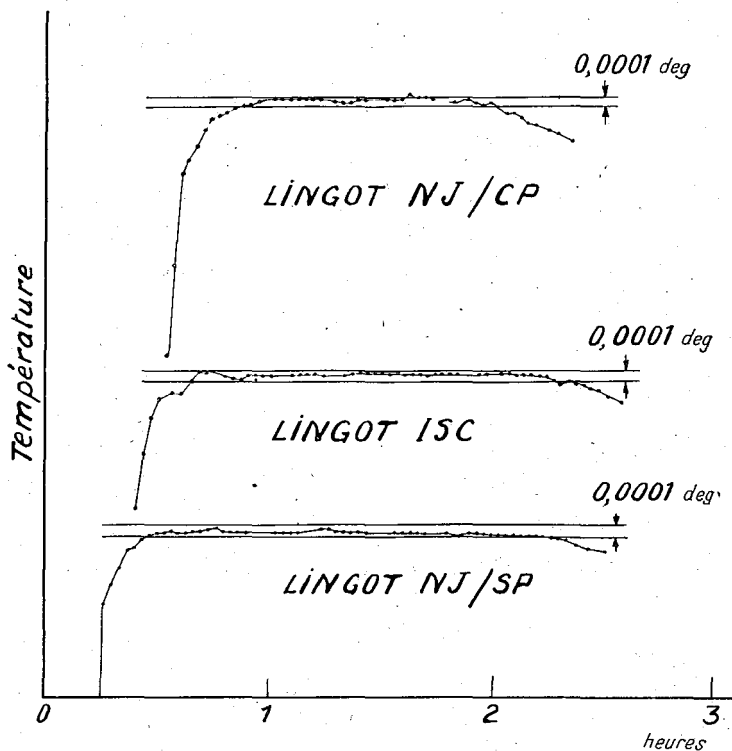


Fig. 1. — Courbes de solidification du zinc.

replaçait ensuite le thermomètre dans son puits et la température d'équilibre était alors atteinte en 10 à 15 min, évitant ainsi le lent relèvement de température de la masse surfondue que l'on obtient autrement. De cette façon, et grâce aux bonnes conditions d'uniformité de température qui en résultent, on obtenait des courbes de solidification telles que celles de la figure 1 où la température reste constante à mieux que 0,000 1 degré pendant deux heures environ.

Détermination du point de solidification du zinc dans l'Échelle Internationale de Température et comparaison au point d'ébullition du soufre. — Les trois lingots C. P., S. P. et I. S. C. ont été étudiés avec les deux thermomètres à résistance Q 14 et Q 15. Désirant

Lingot.	Thermomètre Q 15.				Thermomètre Q 14.			
	Date 1956.	R _{P.E.} /R _{P.T.}	R _S /R _{P.T.}	R _{Zn} /R _{P.T.}	Date 1956.	R _{P.E.} /R _{P.T.}	R _S /R _{P.T.}	R _{Zn} /R _{P.T.}
C. P. (New Jersey Zinc Co.)	23 août.....			2,568 035 3				
	24 »	1,392 503 8	2,655 304 0	6 9	30 août	1,392 585 6	2,655 645 1	2,568 375 2
	27 »	2 0	293 0	4 7	31 »	5 0	43 6	6 0
	28 »	1 9	302 5	2 5	19 sept.	3 9	47 2	6 1
	29 »	2 6	310 3	4 2	20 »	6 9	56 1	3 5
	25 sept.....	2 2	300 4		24 »	7 6	55 7	7 2
	Moyenne	1,392 502 5	2,655 302 0	2,568 034 7		1,392 585 8	2,655 649 5	2,568 375 6
	Écart moyen.	0,000 15 deg	0,001 2 deg	0,000 3 deg		0,000 3 deg	0,001 5 deg	0,000 3 deg
I. S. C. (Imperial Smelting Corp.)	27 sept.....	1,392 500 4	2,655 288 9	2,568 036 4	26 sept.	1,392 588 6	2,655 667 9	2,568 384 9
	28 »	496 7	295 5	3 9	4 oct.	9 4	59 6	3 6
	1 oct.....	499 1	299 9	6 9	5 »	7 6	44 3	5 6
	2 »	500 7	302 7	6 1	8 »	7 5	72 3	8 4
	3 »	500 2	301 0	6 4	9 »	9 4	59 0	2 6
		Moyenne	1,392 499 4	2,655 297 6	2,568 035 9		1,392 588 5	2,655 660 6	2,568 385 0
	Écart moyen.	0,000 3 deg	0,001 2 deg	0,000 2 deg		0,000 2 deg	0,002 2 deg	0,000 5 deg
S. P. (New Jersey Zinc Co.)	22 oct.....	1,392 503 9	2,655 304 4	2,568 042 4	12 oct.	1,392 582 6	2,655 656 2	2,568 386 1
	23 »	4 2	309 9	41 1	15 »	87 7	67 0	5 3
	24 »	2 0	295 6	41 2	16 »	91 2	62 2	5 6
	25 »	4 4	303 4	42 1	17 »	87 3	55 4	3 6
	26 »	4 7	310 6	39 3	19 »	89 5	65 0	4 2
		Moyenne	1,392 503 8	2,655 304 8	2,568 041 2		1,392 587 7	2,655 661 2	2,568 385 0
	Écart moyen.	0,000 2 deg	0,001 3 deg	0,000 2 deg		0,000 6 deg	0,001 2 deg	0,000 2 deg
	Moyenne des écarts moyens.	0,000 2 deg	0,001 2 deg	0,000 2 deg		0,000 4 deg	0,001 6 deg	0,000 3 deg

R_{P.E.}, R_{P.T.}, R_S, R_{Zn} : résistances au point d'ébullition de l'eau, au point triple de l'eau, au point d'ébullition du soufre, au point de solidification du zinc.

établir la valeur du point de solidification du zinc dans l'Échelle Internationale de Température et désirant faire une comparaison directe de la reproductibilité des points de solidification du zinc et d'ébullition du soufre, on effectuait les mesures dans l'ordre suivant : point triple de l'eau, point de solidification du zinc, point triple de l'eau, point d'ébullition de l'eau, point d'ébullition du soufre, point triple de l'eau; on réalisait ces séries de mesures en une journée pour un thermomètre. Les résultats sont donnés au tableau II. Les écarts moyens obtenus sont de 0,000 3 deg pour le point d'ébullition de l'eau, 0,001 4 deg pour le point d'ébullition du soufre et 0,000 3 deg pour le point de solidification du zinc, ce qui montre de façon très nette que le point de solidification du zinc est mieux reproductible que le point d'ébullition du soufre. Les valeurs du point de solidification du zinc déduites de ces mesures sont données au tableau III. La dispersion des valeurs moyennes des trois lingots est de 0,000 7 deg, mais les différences ne sont pas significatives par suite de la moins bonne reproductibilité des valeurs du point d'ébullition du soufre dont dépendent celles du point de solidification du zinc.

Le quatrième lingot G n'a été reçu qu'après la fin des mesures sur les autres lingots, aussi ne fut-il étudié que par comparaison avec le lingot I. S. C. Les deux lingots étaient placés dans des bains de sel distincts et les déterminations au thermomètre à résistance des points de solidification étaient faites alternativement sur chaque lingot. On a trouvé pour le point de solidification du lingot G une valeur inférieure de 0,008 deg à celle de l'échantillon le plus pur.

TABLEAU III.

Valeurs du point de solidification du zinc.

Lingot.	Thermomètre à résistance		Valeurs moyennes.
	Q 15.	Q 14.	
N. J. (C. P.).....	419,503 5°C	419,506 8°C	} 419,505 5°C
I. S. C.....	419,505 3	419,506 5	
N. J. (S. P.).....	419,504 6	419,506 4	
G.....		419,499	

Critère de pureté du zinc. — Il est essentiel de pouvoir définir la pureté du zinc pour être à même d'établir un étalon satisfaisant basé sur son point de solidification. Nous estimons qu'il est possible de reproduire le point d'ébullition du soufre à $\pm 0,002$ deg environ; il faut donc que le point de solidification du zinc puisse être défini dans des limites plus étroites pour présenter un avantage sur le point d'ébullition du soufre. Un abais-

sement du point de solidification de 0,001 deg correspond à la présence d'une si petite quantité d'impuretés que l'analyse spectrographique ne saurait suffire pour définir la pureté avec la précision requise; en outre, la relation entre le pourcentage

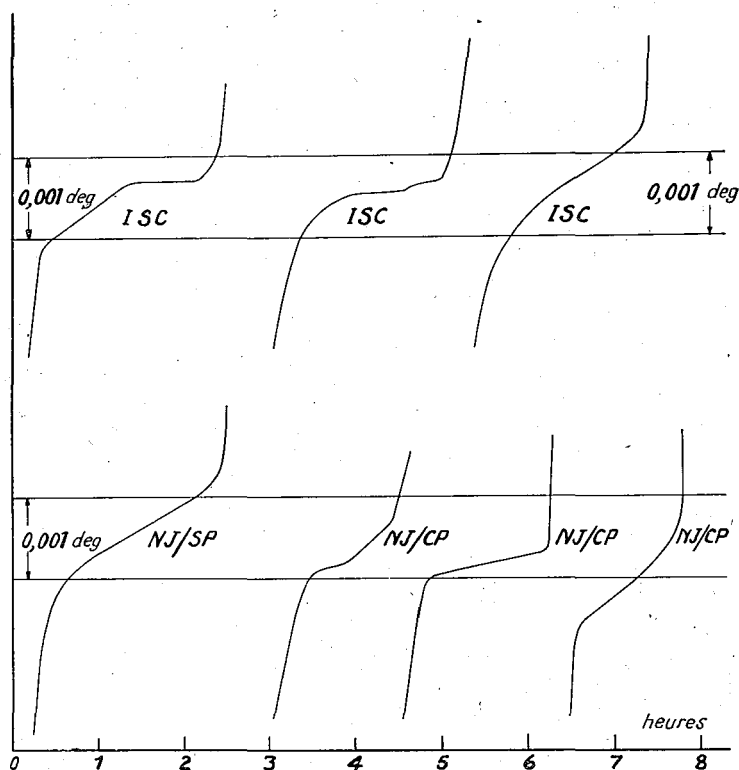


Fig. 2. — Courbes de fusion du zinc.

d'impuretés et l'abaissement du point de solidification n'est pas suffisamment bien connue. Un critère lié au changement d'état est désirable. L'intervalle de température du point de fusion décroît avec l'augmentation de la pureté du métal, ce qui devrait pouvoir fournir un critère convenable.

Un examen des points de fusion de la figure 2 montre que l'intervalle de température des différentes courbes d'un même lingot est quelque peu variable. Par exemple, l'intervalle de fusion des trois courbes du lingot I. S. C. varie de 0,000 6 à 0,001 5 deg; pour les courbes du lingot N. J. (C. P.), la variation est de 0,000 3 à 0,001 deg. Toutes les courbes dépendent de la quantité totale d'impuretés, de 0,000 3 à 0,000 7 % d'après l'analyse spectro-

graphique, mais pour de si faibles proportions l'intervalle de fusion est sans doute très fortement affecté par l'importance du gradient de température dans le lingot. Sur la courbe de fusion du lingot G (fig. 3), on voit que l'intervalle est d'environ 0,02 deg et la quantité d'impuretés de 0,002 3 %; l'abaissement du point de solidification de ce lingot, par comparaison avec le lingot I. S. C., est de 0,007 5 deg. Le tableau IV donne, pour chaque lingot, la quantité nominale d'impuretés, l'intervalle de fusion, et l'abaissement du point de solidification par rapport à celui du lingot I. S. C. On doit remarquer que les valeurs de ce tableau montrent quelques

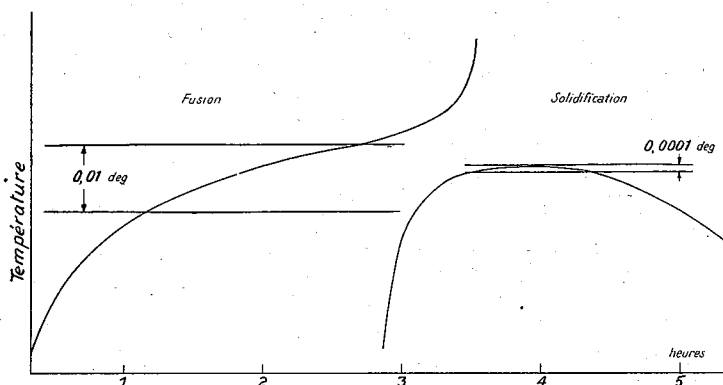


Fig. 3. — Courbes de fusion et de solidification du zinc, lingot G.

anomalies, et l'on ne doit pas commettre l'imprudence d'aller trop loin dans les conclusions à en tirer. Cependant, on peut probablement admettre que si l'intervalle de fusion reste inférieur à 0,002 deg, l'abaissement du point de solidification n'excède pas 0,001 deg.

TABLEAU IV.

Lingot.	Impuretés (%)	Intervalle de fusion (deg).	Abaissement du point de solidification (deg).
I. S. C.	0,000 3	0,000 6 à 0,001 5	0,000 0
N. J. (S. P.)....	0,000 3	0,001	0,000 4
N. J. (C. P.)....	0,000 7	0,000 3 à 0,001	0,000 7
G.	0,002 3	0,02	0,007 5

Conclusions. — Le travail précédent montre qu'il est possible de réaliser le point de solidification du zinc à $\pm 0,000 5$ deg près, à condition d'utiliser la technique permettant de reproduire la température d'équilibre d'un lingot dont la pureté aura été

reconnue suffisante. La reproductibilité du point de solidification du zinc étant meilleure que celle qui peut être obtenue actuellement pour le point d'ébullition du soufre, il semble souhaitable de substituer le point du zinc au point du soufre, en tant que point fixe primaire de l'Échelle Internationale de Température. On donne au point de solidification du zinc la valeur

$$419,505\ 5 \pm 0,002^{\circ}\text{C.}$$

(Mars 1958)

RECHERCHES
SUR LA REPRODUCTIBILITÉ DE LA TEMPÉRATURE
DE SOLIDIFICATION
DU ZINC DE GRANDE PURETÉ (1)

Par Ph. Z. ALIEVA

(Traduction)

Les exigences de la science et de l'industrie concernant la précision des mesures de température dans l'intervalle 0-630° C ont sensiblement augmenté durant ces dernières années. Cependant, la reproductibilité de l'Échelle Internationale de Température elle-même ne permet pas d'assurer la précision désirée à cause de la présence, parmi les repères primaires, du point d'ébullition du soufre. La précision de la reproduction de ce point n'est pas suffisamment élevée ($\pm 0,001$ à $0,002$ degré), et ne s'obtient que grâce à des conditions expérimentales compliquées dont la plus accablante est de faire bouillir du soufre pendant presque 24 heures.

De telles conditions étant difficiles à réaliser dans la pratique journalière, on procède souvent à des mesures au point du soufre immédiatement après le début de l'ébullition. L'erreur sur la reproduction de ce point peut alors atteindre $\pm 0,005$ à $0,010$ degré.

L'augmentation de la précision de la reproduction de l'échelle de température près de 400° C est possible, comme nous l'avons indiqué dans nos propositions antérieures [1], si l'on emploie la température de solidification du zinc au lieu de la température d'ébullition du soufre. L'utilité de ce remplacement doit être évidemment appuyée par des expériences effectuées dans les laboratoires nationaux. Actuellement des expériences correspon-

(1) *Trud. Inst. Metrol. D. I. Mendeleev*, n° 36 (96), 1958, p. 9.

dantes ont été faites au National Research Council, Canada, et à l'Institut de Métrologie Mendéléév de l'U. R. S. S.

L'Institut de Métrologie disposait d'échantillons de zinc provenant de différents gisements : du Canada, de Pologne et d'U.R.S.S. La pureté des échantillons et leur composition isotopique sont données dans le tableau I.

TABLEAU I.
Échantillons de zinc.

	Canada.		Pologne.		U. R. S. S. (Gisement du Kazakhstan-est).		
	C. P.	S. P.	N° 4.	N° 5.	N° 1.	N° 2.	N° 3.
	Contenu en impuretés (%)						
Pb	0,000 1	0,000 2	0,001	0,000 01	0,001	0,000 1	0,000 02
Fe	0,000 4	—	0,000 1	0,000 01	0,000 5	0,000 2	0,000 02
Cd	0,000 05	0,000 05	0,000 01	0,000 05	0,000 5	0,000 05	0,000 01
Cu	0,000 05	—	0,000 02	0,000 01	0,000 05	0,000 03	0,000 001
Sn	0,000 05	traces	—	—	—	—	0,000 002
Contenu en isotopes (%)							
64	50,2		48,7		49,4		
66	27,3		27,9		27,8		
67	3,9		4,0		3,8		
68	18,1		18,8		18,3		
70	0,5		0,6		0,6		

APPAREILLAGE. — On a effectué la fusion de l'échantillon de zinc de 1200 g dans un creuset de graphite ayant un diamètre intérieur de 40 mm et une hauteur de 180 mm. Les creusets ont été fabriqués avec un graphite dont l'addition minérale est 0,003 %.

L'analyse spectrale a montré que la pureté du zinc au cours des expériences reste invariable.

Pour la chauffe du zinc on a employé deux fours de construction différente : l'un des fours était muni d'un gros bloc de cuivre pour uniformiser la température; l'autre, dans le même but, possédait un enroulement supplémentaire sur le tiers supérieur du four (*fig. 1*).

L'étude de la répartition de température des fours, effectuée à l'aide d'un thermocouple, a montré que cette répartition est uniforme dans les limites de $\pm 0,2$ deg sur une longueur plus grande que la hauteur du creuset (*fig. 2* et *3*). Dans la pratique, le four sans bloc de cuivre s'est montré plus efficace à cause de sa petite inertie thermique.

On effectuait les mesures avec les thermomètres à résistance du type P. G. Strelkov. La résistance du thermomètre a été mesurée à l'aide d'un potentiomètre qui, avec un galvanomètre de haute sensibilité, permet de mesurer la chute de potentiel avec une précision de 10^{-7} .

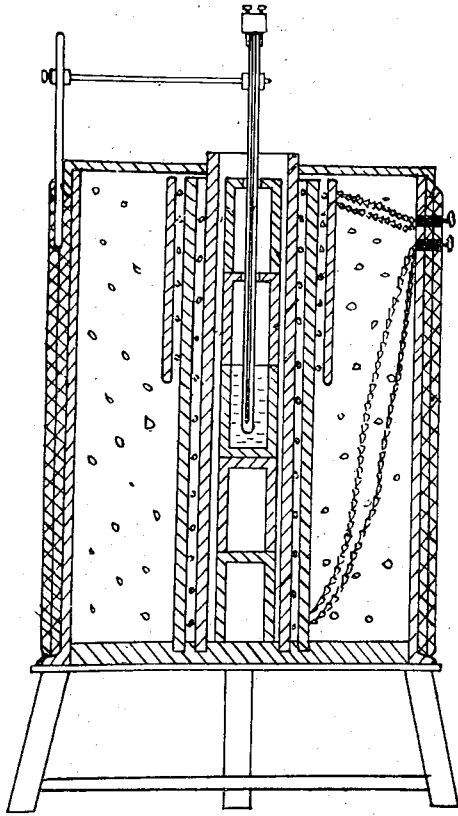


Fig. 1.

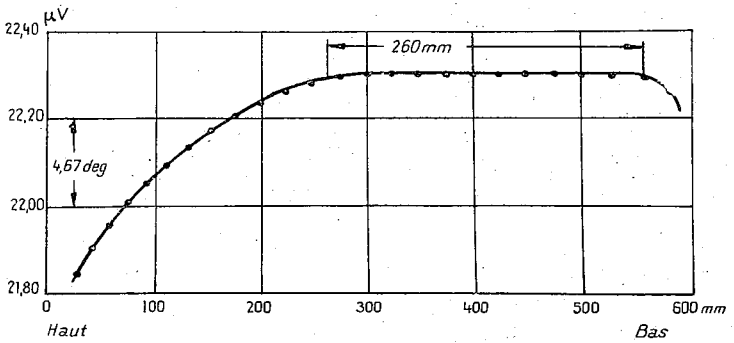


Fig. 2. — Répartition de la température dans l'axe du four avec bloc de cuivre.

La chute de potentiel aux bornes du thermomètre à résistance immergé dans le zinc a été comparée à la chute de potentiel aux bornes d'une résistance étalon de construction spéciale. Cette résistance étalon, en forme de thermomètre à résistance, se trouve dans un thermostat au point triple de l'eau, grâce auquel on obtient une grande stabilité des mesures. On a choisi la valeur de la résistance étalon pour qu'elle soit égale, avec une précision de 0,01 %, à la résistance du thermomètre de platine à la température de solidification du zinc, ce qui diminue considérablement l'influence des erreurs du potentiomètre. Comme matériaux pour la bobine on a utilisé l'alliage or-chrome et la manganine; ces deux alliages ont donné des résultats satisfaisants.

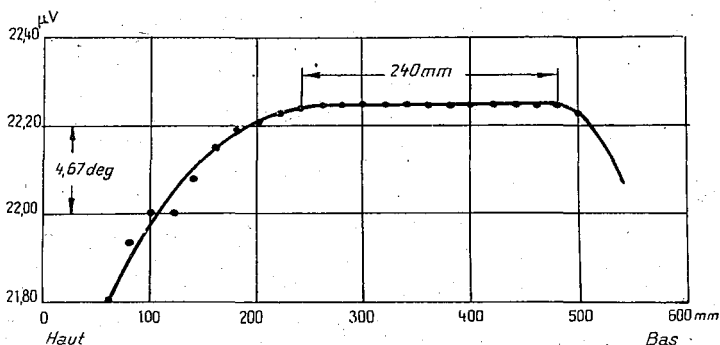


Fig. 3. — Répartition de la température dans l'axe du four avec enroulement supplémentaire.

Le thermostat a les dimensions suivantes :

Diamètre du tube intérieur.....	60 mm.
» » extérieur.....	200 »
Longueur du récipient.....	600 »

Le thermostat se trouve toujours dans un bain de glace, ce qui assure ainsi la conservation du manchon de glace (pendant un mois environ).

EXPÉRIENCES. — Pour la détermination de la température de solidification, le creuset avec le zinc placé dans un long tube de quartz a été disposé dans le four à l'emplacement où la température est la plus uniforme. Le creuset a été fermé par un couvercle sur lequel on a placé, l'une sur l'autre, quelques plaques en graphite. Le couvercle et les plaques sont pourvus d'un trou axial pour le puits thermométrique en quartz destiné à recevoir le thermomètre dans le métal fondu. L'emploi d'un puits en quartz est dû à la nécessité de préserver le thermomètre en cas

d'apparition d'une fêlure de l'enveloppe au moment de l'immersion dans le métal fondu.

Les dimensions du puits sont telles que le jeu entre le puits et le thermomètre ne soit pas supérieur à 1 mm. Le puits a été immergé coaxialement dans le métal jusqu'au fond du creuset; il a été ensuite relevé de 10 à 20 mm et finalement fixé. Après avoir placé le thermomètre dans le puits et l'avoir connecté au dispositif de mesure, on a effectué le réglage du régime du four d'après les indications du thermomètre. Le zinc fondu a été refroidi jusqu'à une température supérieure de quelques degrés à celle de la solidification. Le métal restait ensuite pendant 15 à 20 min à une température pratiquement constante (la variation n'excédait pas 0,005 deg/min), puis il était refroidi lentement (0,2 à 0,3 deg/min) jusqu'à la température de solidification.

Afin d'éliminer les erreurs de mesure dues à l'instabilité de la résistance du thermomètre de platine, on a effectué des mesures au point triple de l'eau après chaque mesure de la résistance à la température de solidification du zinc, et l'on a jugé de la stabilité de t_{zn} d'après le changement du rapport $R_{zn}/R_{p.T.}$ pour le thermomètre donné.

Dans la pratique, lors de la réalisation de la température de solidification du zinc ou de tout autre repère, il y a toujours des variations des conditions expérimentales. Afin d'évaluer l'influence de ces variations sur la stabilité de la température t_{zn} , nous avons effectué des mesures dans des conditions considérablement différentes de celles adoptées pour le travail normal. Par exemple, la durée avant le palier de température était de 1 h dans une expérience et de 15 min dans une autre; la vitesse de refroidissement du métal avant le début du palier de température a varié dans les limites de 0,005 à 1,5 deg/min; la distance entre l'extrémité inférieure du thermomètre et le fond du creuset était de 10 à 40 mm. Les mesures ont été effectuées dans deux fours de constructions différentes, avec des creusets contenant 800, 1200, 2 000 g, etc., de métal.

Toutes ces expériences ont montré que les variations des conditions expérimentales n'influent pas sensiblement sur la reproductibilité de la température de solidification du zinc; dans quelques cas, on observait une diminution de la durée du palier de solidification. Mais si l'on considère que la durée du palier, dans des conditions normales, est voisine de 40 à 50 min, une certaine diminution de cette durée ne peut pas avoir alors une signification considérable.

L'étude de l'influence des variations de la pression atmosphérique sur la température de solidification du zinc a montré qu'elle est pratiquement inexistante.

La valeur de la température de solidification de l'échantillon

de zinc N° 3 a été déterminée à l'aide de quatre thermomètres à résistance de platine, étalonnés aux points de fusion de la glace (en employant le point triple de l'eau), d'ébullition de l'eau et du soufre. La valeur obtenue est 419,504° C (tableau II).

TABLEAU II.

Température de solidification de l'échantillon de zinc N° 3.

Mesure N°.	Thermomètre à résistance N°			
	3.	51-9.	51-11.	51-13.
1.....	419,501	419,506	419,499	419,506
2.....	506	506	509	511
3.....		507	508	510
4.....		508	500	506
5.....		508	499	507
6.....		502	498	508
7.....		504	499	505
8.....		502	500	
9.....			499	

Moyenne : $t_{Zn} = 419,504^{\circ}\text{C}$

Les écarts entre les diverses valeurs numériques de la température de solidification du zinc données dans le tableau II, sont dus à une erreur considérable de l'étalonnage des thermomètres au point d'ébullition du soufre. C'est le moment de dire ici que la valeur 419,59° C obtenue pour t_{Zn} à l'Institut de Métrologie en 1951 à la suite d'expériences dans le domaine de 400 à 1063° C, était certainement excessive. Cela s'explique non seulement par un abaissement de la température d'ébullition du soufre dans ces expériences, mais aussi par la présence possible d'une certaine quantité de fer et de cuivre dans l'échantillon de zinc employé dont les données sur la pureté n'ont malheureusement pas été conservées. Dans les recherches publiées par le National Research Council, Ottawa, sur la température de solidification des échantillons de zinc dont la pureté est identique à celle des échantillons employés dans le présent travail, la valeur obtenue, $t_{Zn} = 419,505^{\circ}\text{C}$, coïncide pratiquement avec notre résultat.

Pour ces expériences, notre laboratoire possédait sept échantillons de zinc de différentes puretés. On peut supposer que la pureté de tous les échantillons est suffisamment satisfaisante pour la réalisation du point fixe. Une telle supposition a été vérifiée par l'expérience. Pour chaque échantillon de zinc les valeurs $R_{Zn}/R_{p.t.}$ ont été mesurées par le même thermomètre. Les valeurs moyennes de ces rapports pour chaque échantillon, obtenues par cinq ou six séries, sont données dans le tableau III.

Les valeurs des températures de solidification de tous les échantillons, calculées d'après la détermination des écarts entre les valeurs moyennes des rapports $R_{Zn}/R_{P.T.}$ et la valeur du rapport mesuré par le même thermomètre sur l'échantillon N° 3, sont aussi données dans le tableau III.

TABLEAU III.

Échantillon	$R_{Zn}/R_{P.T.}$	t_{Zn}
N° 1.....	2,566 664	419,503 7 °C
N° 2.....	667	504 6
N° 3.....	665	504
N° 4.....	663	503 4
N° 5.....	666	504 3
CP.....	668	504 8
SP.....	666	504 3

La température de solidification des échantillons N° 1, N° 4 et S. P. coïncide pratiquement avec celle de l'échantillon N° 3. Quant à la valeur un peu plus élevée de la température des échantillons N° 2 et C. P., il est bien probable qu'elle soit due à des impuretés de fer. Il est vrai que l'échantillon N° 1 contient encore plus de fer, mais son influence peut être compensée par la présence d'une quantité considérable de plomb. Un calcul approximatif théorique, d'après la formule de Raoult-Van't Hoff, a montré que si un échantillon de zinc a des impuretés de divers métaux selon les pourcentages indiqués dans le tableau IV, chacun de ces métaux modifie alors la température de solidification du zinc de 0,000 2 degré. Cependant, l'influence totale de tous les métaux énumérés dans le tableau IV peut être différente; cela dépend de leur proportion.

TABLEAU IV.

Fer.....	0,000 03 %
Cuivre.....	0,000 04
Cadmium.....	0,000 06
Étain.....	0,000 07
Plomb.....	0,000 11

On a observé la reproductibilité de la température de solidification du zinc durant treize mois. L'étude de chaque échantillon a été répétée tous les deux ou trois mois. Les résultats des mesures de l'échantillon N° 3 sont rapportés dans le tableau V.

Bien que la résistance du thermomètre ait augmenté au cours

des mesures, le rapport $R_{Zn}/R_{P.T.}$ est resté constant avec un écart moyen quadratique de $\pm 2.10^{-6}$, ce qui correspond pour la température de solidification du zinc à un écart moyen quadratique de $\pm 0,0005$ deg. Quant à la reproductibilité de la température d'ébullition du soufre, on peut en juger d'après les résultats du tableau VI (2).

TABLEAU V.

Résistance du thermomètre de platine N° 51-13 à la température de solidification du zinc (Échantillon N° 3).

Mesure N°.	R_{Zn} (Ω).	$R_{P.T.}$ (Ω).	$R_{Zn}/R_{P.T.}$
1.....	25,881 19	10,083 58	2,566 667
2.....	21	59	666
3.....	24	61	664
4.....	26	62	664
5.....	24	62	662
6.....	25	60	668
7.....	24	61	664
8.....	32	64	664
9.....	73	80	664
10.....	74	82	666
11.....	76	80	667
12.....	92	87	665
13.....	91	87	664
14.....	92	87	665
15.....	92	87	665
16.....	95	88	666
17.....	92	88	663

Moyenne 2,566 665

TABLEAU VI.

Résistance des thermomètres de platine N°s 51-7 et 51-13 à la température d'ébullition du soufre.

Mesure N°.	N° 51-7			N° 51-13		
	R_S (Ω)	$R_{P.T.}$ (Ω)	$R_S/R_{P.T.}$	R_S (Ω)	$R_{P.T.}$ (Ω)	$R_S/R_{P.T.}$
1.....	24,790 14	9,337 82	2,654 810	26,760 56	10,083 96	2,653 775
2.....	0 05	78	822	59 70	88	711
3.....	1 20	88	907	60 47	79	811
4.....	1 00	92	874	60 59	78	825
5.....	-	-	-	60 22	76	794

(2) Les mesures ont été faites pendant le stade initial de l'ébullition du soufre.

L'expérience a montré que l'état d'équilibre entre le soufre liquide et sa vapeur est stable dans les limites de $\pm 0,005$ degré; entre les phases liquide et solide du zinc la stabilité est dans les limites de $\pm 0,0005$ degré.

Les recherches effectuées dans les laboratoires métrologiques du Canada et de l'U. R. S. S. permettent de conclure que l'Échelle Internationale de Température peut être reproduite avec une précision plus grande, si l'on emploie la température de solidification du zinc comme point fixe primaire au lieu de la température d'ébullition du soufre.

En conclusion, on peut recommander aux laboratoires thermométriques d'utiliser dès à présent dans la pratique d'étalonnage la température de solidification du zinc, en attribuant provisoirement à cette température la valeur $419,504$ ou $419,505^\circ \text{C}$.

Il nous semble que le moment soit venu d'augmenter l'intervalle des températures entre lequel on procède à des intercomparaisons internationales des échelles de température. Nous croyons indispensable de procéder, dans les prochaines années, à une seconde intercomparaison des thermomètres à résistance à la température de solidification du zinc.

Pour un meilleur accord ultérieur entre l'échelle pratique de température et l'échelle thermodynamique, il est nécessaire de déterminer la position du point du zinc dans l'échelle thermodynamique. Nous proposons de procéder à des mesures de la température de solidification du zinc par un thermomètre à gaz dans les différents laboratoires nationaux, en faisant coïncider la présentation des résultats de ces mesures avec la Onzième Conférence Générale des Poids et Mesures. L'Institut de Métrologie envisage d'effectuer une telle détermination en 1959.

Les recherches mentionnées dans ce Rapport ont été exécutées avec la collaboration de U. F. Phalberg (travaux expérimentaux et calculs), K. J. Bregmann (préparation du zinc pur), N. P. Groudinkina (contrôle de la pureté du zinc), G. E. Karstens, de l'Institut des problèmes physiques, Académie des Sciences de l'U.R.S.S. (détermination de la composition isotopique du zinc).

(Avril 1958)

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] *Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 23-B, 1952, p. T 22.
- [2] McLAREN (E. H.), *J. Appl. Phys.*, 25, n° 6, 1954, p. 808.
- [3] PRESTON-THOMAS (H.), *Temperature. Its measurement and control...* vol. 2, Reinhold Publ. Corp., New York, 1955, p. 169.
- [4] McLAREN (E. H.), *Can. J. Phys.*, 35, n° 1, 1957, p. 67-90.

ANNEXE T 13

National Research Council (Canada)
National Bureau of Standards (États-Unis d'Amérique)

TEMPÉRATURE DU POINT DU ZINC
ET COMPARAISON
DE DEUX DÉTERMINATIONS DU POINT DU SOUFRE
DANS UN APPAREIL FERMÉ

Par R. J. BERRY, E. H. McLAREN et J. L. RIDDLE

En 1954, on a déterminé au National Research Council la température du point du zinc en utilisant sept thermomètres étalonnés au N. B. S. aux points d'ébullition du soufre, de l'eau, et au point de glace; on a remarqué sur ces thermomètres une dispersion apparente de 0,01 deg pour le point du zinc, due probablement aux variations des constantes des thermomètres après l'étalonnage. Afin de repérer plus exactement la position du point du zinc sur l'Échelle Internationale de Température, on a mesuré ce point récemment à l'aide de six thermomètres étalonnés au N. R. C.; de plus, on a utilisé deux de ces thermomètres pour faire une comparaison entre les valeurs du point du soufre obtenues au N. R. C. et au N. B. S.

Les résultats des mesures effectuées au point du zinc sont les suivants :

TABLEAU I

Thermomètre.	Température du point du zinc sous 1 atmosphère plus 15 cm d'immersion.
S 136.....	419,505 6 °C
S 133.....	506 4
S 165.....	505 5
S 178.....	505 8
N° 337.....	506 1
N° 338.....	506 2
Moyenne	419,505 9 °C
Écart moyen	± 0,000 3 deg

Étant donné que la pression hydrostatique de 15 cm de zinc correspond à une correction de + 0,000 4 deg, on obtient une valeur moyenne de 419,505 5° C pour le point de solidification du zinc sous une pression de 1 atmosphère.

On a observé les points triples de l'eau avant et après les mesures effectuées avec les six thermomètres de type Meyers aux points d'ébullition de l'eau, du soufre et au point du zinc. Le soufre avait bouilli pendant dix jours et avait atteint une température d'équilibre variant dans les limites de 0,001 deg par rapport à un échantillon de soufre antérieurement étudié. Le zinc utilisé était un échantillon (S 4) de 2 kg, en provenance de New Jersey (zinc du type S. P.), dont le point de solidification s'approchait à 0,000 2 deg près de celui du zinc pur en provenance de plusieurs autres sources. On trouvera dans les références [1] et [2] d'autres détails relatifs aux techniques expérimentales employées.

Les deux thermomètres N^{os} 337 et 338 ont été utilisés pour comparer les températures obtenues au N. R. C. et au N. B. S. pour le point du soufre. Ces deux laboratoires utilisent un ensemble fermé chaudière-manomètre. Le manomètre a une précision de 1 μ Hg; la chaudière est en aluminium et elle comporte deux rangées d'écrans de rayonnement autour des tubes rentrants pour le logement des thermomètres. A chaque laboratoire on a mesuré les résistances à l'aide d'un pont Mueller G 3 de Leeds et Northrup. On a d'abord contrôlé les thermomètres au N. R. C., puis au N. B. S., et de nouveau au N. R. C., le transport ayant été effectué à la main dans ce dernier cas. Les résultats figurent au tableau II. On notera que les deux bains de soufre ont bouilli pendant au moins dix jours avant d'être utilisés et que les résistances ont été extrapolées à un courant nul.

TABLEAU II.

	Thermomètre N ^o 337.		Thermomètre N ^o 338.		Traitement thermique. Recuit initial : 29 h à 444°C 6 h à 470°C.
	R _a (Ω).	R _{11,6} /R ₀ .	R ₀ (Ω).	R _{14,6} /R ₀ .	
N. R. C. (3-4-1958)	25,456 895	2,656 021 6	25,462 721	2,655 792 3	2 h à 444°C
N. B. S. (16-5-1958)					7 006	028 3	845	797 1	5 h à 444°C
N. R. C. (22-5-1958)	6 940	022 5	755	789 0	2 h à 444°C
N. B. S.—N. R. C.		63.10 ⁻⁷ ≈ 19.10 ⁻⁴ deg		65.10 ⁻⁷ ≈ 19.10 ⁻⁴ deg	

On peut constater que la variation de R_0 entre les deux mesures effectuées au N. R. C. était très petite, et que les deux thermomètres ont donné une différence de l'ordre de 0,001 9 deg entre les températures du point du soufre déterminées au N. R. C. et au N. B. S., la valeur du N. B. S. étant la plus élevée.

Si nous tenons compte de cet écart au point du soufre pour calculer la valeur du point du zinc au N. B. S., nous obtenons les points du zinc indiqués au tableau III qui semblent tous, apparemment, correspondre à une pression de 1 atmosphère plus 15 cm de pression de zinc.

TABLEAU III.

Laboratoire.	t_{Zn} °C
*N.B.S. (États-Unis) 1952 environ [3].....	419,505
N.P.L. (Royaume-Uni) 1958 [4].....	505 5
I.M. (U.R.S.S.) 1958 [5].....	504 2
*N.B.S. 1958.....	504 4
N.R.C. (Canada) 1958.....	505 9
	Moyenne 419,505 0°C

*Mesures du point du zinc effectuées au N.R.C. par McLaren et Murdoch.

Sous une pression de 1 atmosphère cette valeur moyenne devient 419,504 6° C.

(13 juin 1958)

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] McLAREN (E. H.), *Can. J. Phys.*, 35, 1957, p. 1086.
- [2] BERRY (R. J.), *Can. J. Phys.*, 36, 1958, p. 740.
- [3] McLAREN (E. H.), *Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 24, 1954, p. T 162.
- [4] Ce volume, Annexe T 11, p. T 94.
- [5] ALIEVA (Ph. Z.), ce volume, Annexe T 12, p. T 102.

ANNEXE T 14

Bureau International des Étalons Physico-Chimiques (Belgique)

MÉMORANDUM CONCERNANT LES REPÈRES DE TEMPÉRATURE

Par J. TIMMERMANS

Comme je l'ai indiqué lors de notre réunion de 1954 (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 24, 1954, p. T 173), les métalloïdes suivants conviennent mal comme repères de température : S, Se, Te, P, As, Sb. Ainsi qu'il résulte des recherches physico-chimiques, ces substances ont une constitution intime fort complexe qui se traduit notamment par l'apparition de formes polymorphes variées à l'état cristallin, stables ou métastables, avec par conséquent possibilité d'erreurs sur la température de fusion, et par le mélange intime de toutes ces formes isomériques dans le liquide, sans que l'équilibre entre elles soit facile à atteindre.

Pour le soufre, le mieux étudié de tous ces éléments, les recherches de Kruyt (*Z. Phys. Ch.*, 64, 1908, p. 513 et 65, 1909, p. 486) ont bien mis en évidence ces difficultés : ainsi, la transformation isomérique catalysée positivement par des traces d'ammoniaque est bloquée par des traces d'anhydride sulfureux, qui se forment si facilement au contact de l'air. Il en résulte que la température d'ébullition de cette substance est également difficile à définir avec précision : dans son rapport (Annexe T 23, p. T 197), notre collègue H. F. Stimson signale lui-même qu'il faut que l'ébullition continue plusieurs jours pour atteindre une température constante ; et il subsiste encore des corrections nécessitées par les pertes de rayonnement calorifique à cette température élevée.

Étant donné les remarquables résultats signalés dans le Rapport du National Research Council (Canada) concernant la température de congélation du zinc très pur (Annexe T 10, p. T 84), il me semble qu'il serait temps de remplacer comme repère principal la température d'ébullition du soufre, qui dépend en outre de la pression, par la température de congélation du zinc, qui

en est pratiquement indépendante et se prête beaucoup plus facilement aux déterminations expérimentales.

Pour des raisons analogues, je propose de rayer de la liste des repères secondaires le point de fusion de l'antimoine, d'ailleurs relativement proche de celui de l'aluminium.

En résumé, il y a un siècle, lorsque les recherches de précision sur l'échelle thermométrique ont commencé à se développer, l'état des connaissances scientifiques rendait tout naturel le choix de tels éléments comme repères; mais il me semble aujourd'hui, en tant que physico-chimiste, qu'il serait impardonnable de s'obstiner dans cette direction.

(Mai 1958)

RELATION TEMPÉRATURE - TEMPS
DANS LA RÉALISATION DU POINT DU SOUFRE
ET DU POINT TRIPLE DE L'EAU

Par R. J. BERRY

On a constaté que le soufre très pur doit bouillir pendant environ dix jours avant d'atteindre l'équilibre de température, et qu'au cours de cette période sa température tombe à environ 0,008 deg au-dessous de sa valeur la plus élevée. Il semble que ce résultat soit indépendant de l'origine du soufre et de la composition du gaz qui est en contact avec lui. Cependant, la forme de la courbe température-temps dépend légèrement du comportement thermique du soufre, tandis que l'addition au soufre de petites quantités d'impuretés modifie la courbe profondément et provoque l'équilibre en quelques heures.

On a également constaté que les ampoules à point triple de l'eau dont on s'est servi ici, atteignent l'équilibre de température au bout d'une période pouvant aller jusqu'à deux jours après la formation initiale de l'interface glace-eau. Au cours de cette période la température peut changer de 0,000 3 deg environ; par la suite, la température reste constante dans les limites de l'erreur expérimentale.

POINT DU SOUFRE. — En 1955, Stimson [1] a fait savoir que pendant la première journée d'ébullition la température d'un bain de soufre décroît d'environ 0,01 deg, et qu'à la fin de la journée elle atteint son équilibre. Il n'a pas pu expliquer ce phénomène, mais il a pensé qu'il n'était pas dû aux impuretés contenues dans le soufre. On a observé ici un effet quelque peu semblable.

L'appareil utilisé est fondamentalement semblable à celui que Stimson a construit. Il comporte un ensemble fermé chaudière-manomètre; le manomètre a une précision de 1μ Hg et la chau-

dière est construite en aluminium avec deux écrans de protection contre les rayonnements autour des puits thermométriques. On a mesuré les températures avec deux thermomètres à résistance de platine recuits, du type Meyers (S 165 et S 178); on s'est servi du S 165 pour obtenir la partie principale de la courbe, et du S 178 seulement avec parcimonie pour vérifier la température finale d'équilibre. Les deux thermomètres ont été maintenus à la température du soufre le moins longtemps possible, afin d'éviter un changement de leurs coefficients thermiques. Toutes les mesures de résistance ont été extrapolées à un courant nul et on a effectué un contrôle au point triple de l'eau avant et après chaque mesure. On donne ailleurs [2] la description du pont de Mueller et du détecteur employés.

Le soufre utilisé pour l'établissement des courbes de la figure 1 a été fourni par la « Texas Gulf Sulphur Company » et sa pureté était de 99,99 %. On l'a purifié davantage au moyen du procédé Bacon et Fanelli [3] (ce qui a permis de le débarrasser d'une bonne quantité d'impuretés organiques) et on l'a finalement dégazé sous vide dans la chaudière.

Les courbes de la figure 1 ont été obtenues en portant le soufre de la température de la pièce à celle du point d'ébullition en 1,7 heure environ, sous une pression de 1 atmosphère du gaz indiqué. Pour l'hélium (essai 1) et l'air on avait tout d'abord refroidi le soufre à partir du point d'ébullition sous 1 atmosphère de gaz; pour l'azote et l'hélium (essai 2) le refroidissement avait eu lieu seulement sous la pression de la vapeur du soufre. On remarquera que cela a eu pour effet d'éliminer l'accroissement initial de la température mais que, par ailleurs, il en est résulté un comportement très semblable dans les quatre cas. Cependant, dans le cas de l'air et de l'azote, la température d'équilibre (toutes les corrections appropriées de pression hydrostatique étant faites) semble être d'environ 0,002 deg plus élevée que pour les essais avec l'hélium.

Une autre expérience effectuée avec la même charge de soufre a consisté à porter le soufre à la température d'équilibre, à le laisser ensuite refroidir jusqu'à 315° C sous une pression de 1 atmosphère pendant 24 heures, puis à le porter de nouveau au point d'ébullition. Trente minutes après le début de l'ébullition la température était de 0,004 deg supérieure à la température d'équilibre, ce qui correspond à une durée de 35 heures sur la courbe température-temps; par la suite, l'évolution était la même que dans les essais précédents.

Auparavant, on avait purifié davantage un soufre d'une provenance différente (Fielding Chemical Company) et dont la pureté était de 99,99 %. On s'en est servi pour établir quatre autres courbes température-temps avec l'hélium; ces courbes

ont été presque identiques à celles de l'hélium (essai 1) de la figure 1.

Une des premières charges de soufre a été accidentellement contaminée par sa vapeur entrée en contact avec un tube en alliage de cuivre, de nickel et de zinc. Ce soufre contaminé a semblé atteindre son équilibre de température au bout de dix heures dans chacun des deux essais suivants, et sa température d'ébulli-

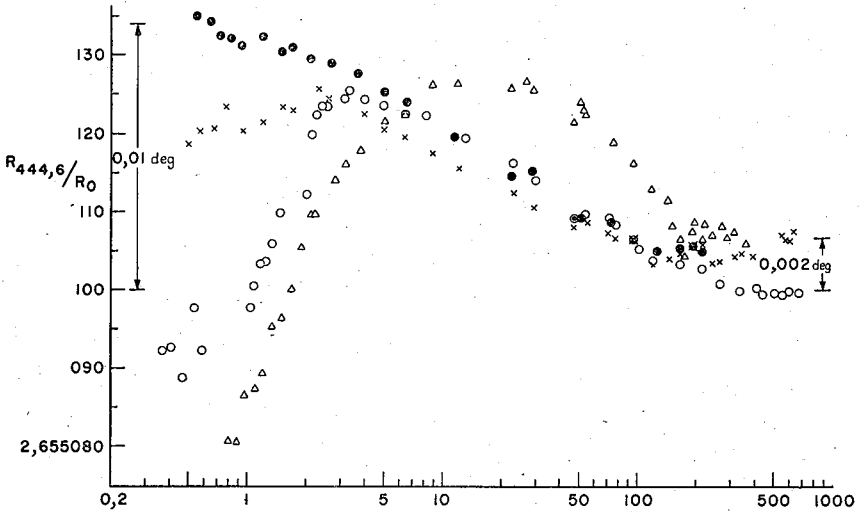


Fig. 1. — Rapport entre la résistance au point du soufre et la résistance au point de glace en fonction de la durée d'ébullition du soufre. (Les quatre courbes ont été établies avec le thermomètre S 165.)

En abscisses : durée de l'ébullition, en heures.

En ordonnées : $R_{444,6}/R_0$.

Ordre chronologique des essais :

- Hélium (essai 1);
- △ Air;
- × Azote;
- Hélium (essai 2).

tion n'a pas changé de plus de 0,002 deg au cours des soixante-dix heures qui ont suivi l'établissement de l'équilibre de température.

On a indiqué [4] que l'établissement d'un équilibre entre les différents états allotropiques du soufre s'établit rapidement dans la phase vapeur, mais qu'il est lent dans la phase liquide. Dans cette dernière, la présence d'ammoniaque ou de composés basiques accélère ce processus, tandis que l'anhydride sulfureux et les composés acides le ralentissent. Il paraît probable que le

processus d'établissement de l'équilibre allotropique et les influences des gaz et des impuretés dissous sur ce processus, sont la cause du comportement mentionné plus haut. En dépit du fait que la température mesurée est presque certainement celle de l'interface liquide condensé-vapeur plutôt que celle de l'interface liquide en évaporation-vapeur, ce liquide provenant de la condensation n'est probablement pas resté assez longtemps sous forme de vapeur pour que sa composition allotropique soit indépendante de celle du liquide d'où il s'était évaporé.

Les travaux dont il est question ici permettent de penser que si l'on fait bouillir le soufre sous une pression d'hélium pendant environ 10 jours, le point du soufre peut alors être reproduit à 0,001 deg ou mieux.

POINT TRIPLE DE L'EAU. — Au cours des dernières années on a soupçonné qu'un certain temps s'écoule entre la formation initiale d'un manchon de glace dans une ampoule à point triple de l'eau et l'établissement d'un équilibre de température. En 1954, Barber [5] a noté sur deux ampoules une augmentation de 0,000 1 deg au cours de la première journée, mais il a pensé que cela était peut-être dû à l'insuffisance des instruments. McLaren [6] avait également remarqué que certaines ampoules semblent avoir une température légèrement plus basse que la température normale le premier jour qui suit leur préparation; c'est pourquoi il attendait généralement un jour avant de se servir des ampoules.

Les ampoules utilisées pour la présente étude étaient en verre pyrex. Certaines ont été fabriquées à notre laboratoire, les autres provenaient de maisons commerciales; leur âge variait de quelques mois à quatre ans. Les manchons de glace étaient formés autour du puits thermométrique par un refroidissement rapide provoqué à l'intérieur du puits à l'aide d'anhydride carbonique solide. Avant chaque mesure thermométrique, on faisait fondre une très légère pellicule de glace autour du puits. Toutes les mesures de résistance obtenues au moyen d'un thermomètre Meyers à résistance de platine ont été extrapolées à un courant nul. On trouvera ailleurs la description de la méthode de mesure [2].

La figure 2 montre la reproductibilité du point triple pour un certain nombre de manchons de glace dans deux ampoules sur une période d'un mois. On a mesuré les résistances aux points triples ($R_{p.T.}$) avec un seul thermomètre (S 163), 10 $\mu\Omega$ correspondant à 0,000 1 deg. Un manchon de glace sur l'ampoule N° 116 a donné un écart moyen d'environ 1 $\mu\Omega$ pendant une période de 27 jours. Au cours de la même période, à chacune des cinq nouvelles formations d'un manchon de glace sur l'ampoule N° 117, $R_{p.T.}$ a augmenté d'environ 10 à 30 $\mu\Omega$ entre la deuxième et la cinquantième heures après la formation du manchon.

On a étudié particulièrement ce changement initial de température, quinze fois avec l'ampoule N° 117 et seize fois avec sept autres ampoules. On peut voir sur la figure 3 quelques-unes des courbes obtenues. Tous les résultats pourraient se situer entre

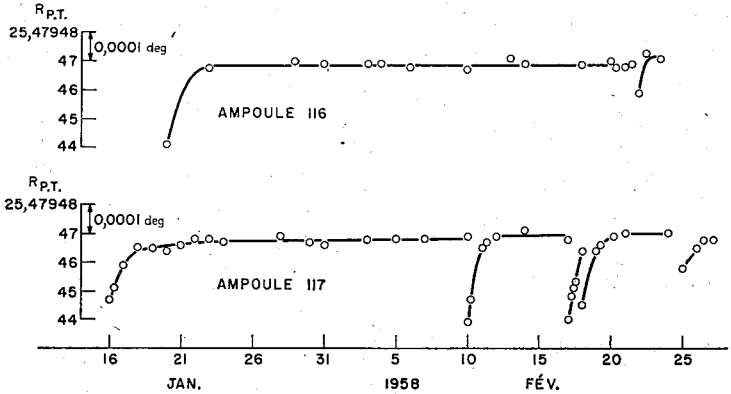


Fig. 2. — Variations de $R_{P.T.}$ pour un thermomètre Meyers (S 163). $R_{P.T.}$ mesurée dans deux ampoules à point triple de l'eau pendant une période d'environ 1 mois.

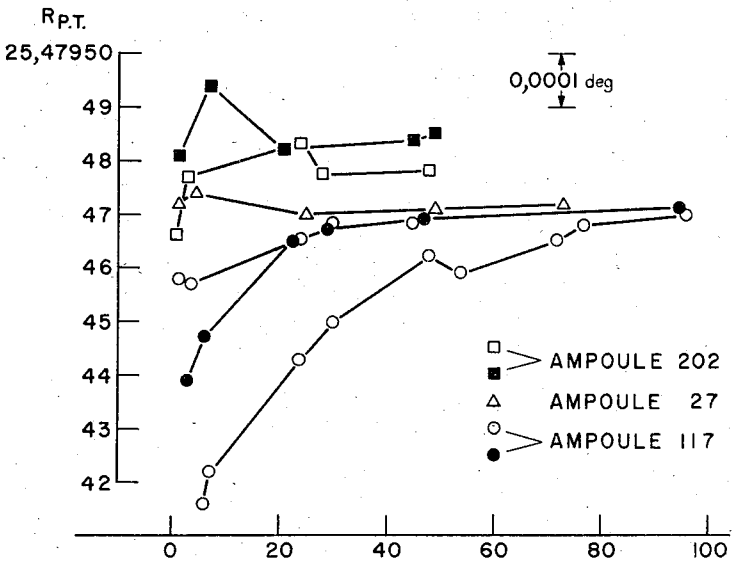


Fig. 3. — Variations initiales de la température en fonction du temps dans trois ampoules à point triple de l'eau. En abscisses : âge du manchon de glace, en heures

les courbes extrêmes indiquées sur cette figure. La très grande augmentation de température (0,000 6 deg) pour l'une des courbes obtenues avec l'ampoule N° 117 n'a jamais pu être reproduite; il n'est donc pas impossible qu'une erreur instrumentale ait contribué à l'établissement de cette courbe. L'allure et l'importance de ce changement initial de température dépendent dans une certaine mesure de l'ampoule utilisée. On a constaté, dans certaines ampoules, des changements dans la valeur d'équilibre de R.P.T. allant jusqu'à $8 \mu\Omega$ lorsque, dans une ampoule donnée, on dégèle le manchon de glace et qu'on le remplace par un autre. Il fallait, en général, de 20 à 50 heures pour que les ampoules atteignent l'équilibre.

Afin de définir la cause de ce changement initial de la température on a effectué un certain nombre d'expériences avec l'ampoule N° 117. On a formé des manchons de glace à des vitesses différentes (variant selon un facteur 7), d'épaisseurs différentes (variant selon un facteur 3) et de longueurs différentes (variant selon un facteur 2). On a fait fondre le manchon de glace autour du puits thermométrique sur une épaisseur atteignant jusqu'à 3 mm, et jusqu'à une profondeur d'environ 15 cm, à partir du niveau de l'eau. On a mélangé l'eau dans les ampoules en les renversant et en les faisant tourner, à la fois avant et après la congélation; le manchon de glace a été déplacé le long du tube thermométrique de telle sorte qu'on a pu aspirer et refouler l'eau dans la cavité située entre l'intérieur du manchon et le fond du puits. Ces manipulations n'ont donné lieu à aucune modification importante ou reproductible dans la forme de la courbe température-temps, ou dans l'équilibre thermique final. Il est toutefois difficile de déterminer l'importance des petits changements qui se produisent dans la courbe, par suite de la petitesse de l'effet total et de la différence de comportement des diverses ampoules.

Le mécanisme auquel est attribué ce comportement peut comprendre la diffusion des impuretés, les déformations (c'est-à-dire les défauts des cristaux) dans la glace ou les changements de la concentration de D_2O dans les diverses parties de la glace. Étant donné que la température peut augmenter ou diminuer avec le temps, il apparaît qu'au moins deux processus soient nécessaires.

Il semble que pour les travaux de très haute précision la formation du manchon de glace doit être faite au moins 50 heures avant l'utilisation de l'ampoule.

(Juin 1958)

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] STIMSON (H. F.), *Temperature; its measurement and control in science and industry*, vol. 2, Reinhold, 1955, p. 141.

- [2] BERRY (R. J.), *Can. J. Phys.*, 36, 1958, p. 740.
- [3] BACON (R. F.) et FANELLI (R.), *Industr. Engng. Chem.*, 34, 1942, p. 1043.
- [4] Sulphur Data Book, McGraw-Hill, 1954, p. 6.
- [5] BARBER (C. R.), HANDLEY (R.) et HERINGTON (E. F. G.), *Brit. J. Appl. Phys.*, 5, 1954, p. 41.
- [6] McLAREN (E. H.), *Can. J. Phys.*, 35, 1957, p. 78.

SUR LA TEMPÉRATURE
DE LUMINANCE MONOCHROMATIQUE DU RADIATEUR
IMMERGÉ AU POINT DE L'OR

Par H. WAGENBRETH

(Traduction)

Comme on le sait, l'échelle de température au-dessus du point de fusion de l'or (1063° C) repose sur le rayonnement d'un corps noir, le rayonnement du corps noir à la température du point de fusion de l'or étant pris comme référence [1]. En pratique, le rattachement du pyromètre optique au point de l'or s'effectue souvent avec une enceinte rayonnante (radiateur) sphérique en porcelaine Marquardt munie d'un col conique [2], cette enceinte étant immergée dans l'or en fusion (*fig. 1*).

1. NOIRCEUR DU RADIATEUR IMMERGÉ. — Un tel radiateur n'est cependant pas complètement noir. L'absorption d'une sphère creuse munie d'une petite ouverture sans col est, d'après Ribaud,

$$(1) \quad 1 - \rho \frac{\Omega}{\pi} - \rho^2 \frac{\Omega}{\pi} - \dots = 1 - \frac{\rho}{1 - \rho} \frac{\Omega}{\pi},$$

où ρ est le facteur de réflexion de la paroi de la sphère, et Ω l'angle solide sous lequel l'ouverture est vue de la paroi opposée.

Des formules plus précises pour le calcul de la luminance de l'enceinte rayonnante ont été données sous une forme plus générale par De Vos [3]. Leur application à la sphère creuse avec col exigerait cependant de longs calculs qui ne valent pas la peine d'être faits; ils ne conduiraient qu'à une amélioration insignifiante des résultats obtenus par les approximations suivantes.

Le facteur d'absorption d'un radiateur immergé constitué par une sphère creuse munie d'un col est sans aucun doute plus

grand que celui d'une sphère creuse sans col. La partie de la lumière incidente qui s'échappe après une seule réflexion à l'intérieur de la sphère n'est certes pas affectée par le col; mais les

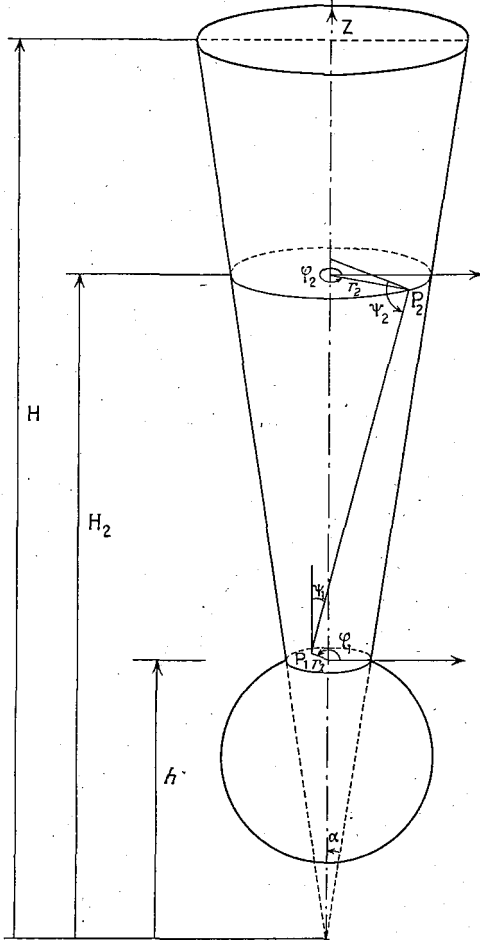


Fig. 1. — Radiateur pour la réalisation du point de l'or d'après la méthode du creuset.

rayons lumineux qui ne sortent qu'après des réflexions multiples rencontrent pour la plupart le col et y sont en partie absorbés. Pour cette raison, on obtient une meilleure valeur approchée du facteur d'absorption de la sphère creuse avec col si l'on néglige, dans l'équation (1), les réflexions multiples représentées par les termes en ρ de puissance supérieure à 1; c'est du reste ce qu'avait

déjà fait Ribaud pour la sphère creuse sans col. On a ainsi, pour le facteur d'absorption du radiateur immergé, la valeur approchée

$$(1a) \quad 1 - \rho \frac{\Omega}{\pi}.$$

Le calcul se poursuit alors selon Ribaud, et montre que la température de luminance monochromatique d'un tel radiateur immergé est plus basse que la température vraie de la paroi intérieure de la sphère de

$$(2) \quad \Delta_1 T = \frac{\lambda T^2}{C_2} \rho \frac{\Omega}{\pi} = \frac{\lambda T^2}{4 C_2} \rho \frac{d^2}{D_i^2},$$

où λ est la longueur d'onde du rayonnement monochromatique utilisé, $C_2 = 1,438$ cm. degré, d est le diamètre de l'ouverture et D_i le diamètre intérieur de la sphère.

En admettant que la partie de la lumière réfléchie qui est à l'origine de l'expression (1a) soit fautive de 30 %, les erreurs sur les valeurs $\Delta_1 T$ (tableau I) n'atteignent au maximum que $\pm 0,1$ degré et ne dépassent donc pas l'incertitude des mesures. On a renoncé pour cette raison à un calcul plus précis suivant les formules de De Vos.

2. ÉNERGIE RAYONNÉE PAR L'OUVERTURE DU CÔNE. — L'équation (2) donne l'écart entre la température de luminance monochromatique du radiateur et la température vraie de la paroi intérieure de la sphère. Cependant, en raison de l'énergie rayonnée, il existe dans la paroi de la sphère une chute de température qui intervient également dans l'écart entre la température mesurée au pyromètre et la température du métal en cours de solidification.

Le flux d'énergie qui s'échappe à travers l'ouverture supérieure du cône a pour valeur

$$(3) \quad \sigma T^4 \frac{d^2 \pi}{4} \frac{H^2 \operatorname{tg}^2 \alpha}{(H-h)^2} \quad \left(\begin{array}{l} \alpha \ll 1 \\ h \ll H \end{array} \right),$$

où $\sigma = 5,77 \cdot 10^{-4}$ W.cm⁻².deg⁻⁴ est la constante de Stefan-Boltzmann; la signification des autres grandeurs est indiquée à la figure 1.

L'énergie traversant la paroi de la sphère est

$$(4) \quad K \frac{\pi D_i D_a}{l} \Delta_2 T,$$

où K est le coefficient de conductibilité calorifique, D_i et D_a sont les diamètres intérieur et extérieur, l est l'épaisseur de la paroi.

Le bilan énergétique calculé à l'aide de (3) et (4) donne pour

la chute de température dans la paroi de la sphère

$$(5) \quad \Delta_2 T = \frac{\sigma}{4K} T^4 \frac{l d^2 \lg^2 \alpha}{D_i D_a \left(1 - \frac{h}{H}\right)^2},$$

cette chute de température étant provoquée par l'énergie perdue à travers l'ouverture du cône.

Les corrections de température qu'on obtient avec cette formule n'atteignent que quelques centièmes de degré (voir tableau I). Une correction analogue est déjà indiquée par Ribaud [2], mais elle donne une valeur environ quatre fois plus grande parce qu'elle tient compte d'une manière approchée d'une partie du rayonnement qui frappe la paroi du cône. Gouffé [4] fait intervenir en plus les différences de température sur la surface intérieure de la sphère; pour le radiateur considéré ici, on n'obtient ainsi qu'une correction de quelques centièmes de degré à cause de l'existence du col. Les valeurs expérimentales obtenues récemment par Tingwaldt et Kunz [5] pour les corrections de température applicables aux mesures pyrométriques avec un radiateur immergé sont cependant notablement plus importantes. L'explication qu'on peut donner à cela est que l'énergie rayonnée par la sphère sur la paroi du tronc de cône, et dont on n'a pas tenu compte suffisamment jusqu'à présent, est importante. Cette énergie est calculée dans le paragraphe suivant.

3. ÉNERGIE RAYONNÉE PAR LA SPHÈRE SUR LA PAROI DU TRONC DE CÔNE. — L'énergie transportée par rayonnement d'un élément P_1 , d'aire df_1 , à un élément P_2 , d'aire df_2 , situé à la distance R de P_1 , est

$$(6) \quad \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{\pi} \sigma (T_1^4 - T_2^4) \frac{\cos \psi_1 \cos \psi_2}{R^2} df_1 df_2,$$

où ψ_1 et ψ_2 sont les angles formés par la droite joignant les deux éléments et la normale à chaque élément, et ε est le pouvoir émissif.

Dans notre cas, on doit intégrer l'expression (6) d'abord sur l'ouverture de la sphère, et ensuite sur la surface du tronc de cône; on obtient ainsi

$$(7) \quad Q = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{\pi} \sigma \int_{F_1} \int_{F_2} (T_1^4 - T_2^4) \frac{\cos \psi_1 \cos \psi_2}{R^2} df_1 df_2.$$

Ce faisant, on considère que la surface F_2 du cône rayonne aussi sur la surface F_1 de l'ouverture de la sphère. On ne tient pas compte du fait qu'une partie du rayonnement qui sort de la

sphère se réfléchit sur la paroi du cône, et qu'une partie de ce rayonnement réfléchi retombe sur l'orifice de la sphère; ce rayonnement réfléchi est toutefois très faible en raison de la petitesse de l'orifice de la sphère, et il peut être négligé ici. La température T_1 sur la surface F_1 de l'ouverture de la sphère est uniforme. Lorsqu'on limite la surface F_2 à une étroite zone de la surface du cône comprise entre les niveaux $z = H_2$ et $z = H_3$, sa température T_2 peut être considérée comme uniforme. Il est alors possible de sortir la quantité $(T_1^4 - T_2^4)$ de l'intégrale (7); cette intégrale devient une grandeur géométrique pure que nous désignerons par I et que nous devons d'abord calculer. Soit (voir *fig. 1* pour la signification des notations employées; les calculs intermédiaires sont omis)

$$(8) \quad R^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2) + \left(\frac{r_2}{\operatorname{tg} \alpha} - h\right)^2,$$

$$(9) \quad \cos \psi_1 = \frac{\frac{r_2}{\operatorname{tg} \alpha} - h}{R},$$

$$(10) \quad \cos \psi_2 = \frac{\cos \alpha}{R r_2} [h r_2 \operatorname{tg} \alpha - r_1 r_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)],$$

$$(11) \quad I_{23} = \int_0^{\frac{d}{2}} dr_1 \int_0^{2\pi} r_1 d\varphi_1 \int_{H_2 \operatorname{tg} \alpha}^{H_3 \operatorname{tg} \alpha} dr_2 \int_0^{2\pi} r_2 d\varphi_2 \\ \times \frac{\left(\frac{r_2}{\operatorname{tg} \alpha} - h\right) \frac{\cos \alpha}{r_2} [h r_2 \operatorname{tg} \alpha - r_1 r_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)]}{\left[r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2) + \left(\frac{r_2}{\operatorname{tg} \alpha} - h\right)^2\right]^2}.$$

Pour simplifier les calculs ultérieurs, nous tenons compte de l'inégalité

$$(12) \quad r_1^2 - 2r_1 r_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2) \ll r_2^2 + \left(\frac{r_2}{\operatorname{tg} \alpha} - h\right)^2,$$

qui n'est en défaut que pour les points situés sur le cône au voisinage immédiat de l'ouverture de la sphère; le résultat final n'est pas affecté par cette simplification.

On intègre d'abord par rapport à r_1 . Dans ce calcul, le diamètre d de l'ouverture de la sphère peut être plus petit que $d_{\max} = 2h \operatorname{tg} \alpha$, pour le cas où l'on réduirait l'ouverture à l'aide de diaphragmes circulaires. On intègre ensuite par rapport à φ_1 et φ_2 , chaque fois de 0 à 2π , ce qui conduit à

$$(13) \quad I_{23} = \frac{\pi^2}{2} d^2 h \sin \alpha \int_{H_2 \operatorname{tg} \alpha}^{H_3 \operatorname{tg} \alpha} dr_2 \frac{\frac{r_2^2}{\operatorname{tg} \alpha} - h r_2}{\left[\frac{r_2^2}{\sin^2 \alpha} - 2 \frac{h r_2}{\operatorname{tg} \alpha} + h^2\right]^2}.$$

Le plus simple est de calculer cette intégrale à l'aide d'une table [6], et l'on obtient, en tenant compte de $\alpha \ll 1$,

$$(14) \quad T_{23} = \frac{\pi^2}{2} d^2 h \sin \alpha \left[\frac{h - H_3 \sin^2 \alpha}{(H_3 - h)^2 + H_3^2 \operatorname{tg}^2 \alpha} - \frac{h - H_2 \sin^2 \alpha}{(H_2 - h)^2 + H_2^2 \operatorname{tg}^2 \alpha} \right].$$

L'énergie rayonnée par l'ouverture de la sphère sur la zone annulaire du cône a donc la valeur

$$(15) \quad Q_{23} = \frac{\pi}{2} \varepsilon_1 \varepsilon_2 \sigma d^2 h \sin \alpha [T_1^4 - T_2^4(\tilde{H})] \\ \times \left[\frac{h - H_3 \sin^2 \alpha}{(H_3 - h)^2 + H_3^2 \operatorname{tg}^2 \alpha} - \frac{h - H_2 \sin^2 \alpha}{(H_2 - h)^2 + H_2^2 \operatorname{tg}^2 \alpha} \right],$$

où \tilde{H} est une valeur comprise entre H_2 et H_3 . Par le passage à la limite $H_3 \rightarrow H_2$ et l'intégration correspondante par rapport à H , et en supprimant l'indice 2, on obtient pour l'énergie rayonnée par l'ouverture de la sphère sur le tronc de cône

$$(16) \quad Q = \pi \varepsilon_1 \varepsilon_2 \sigma d^2 h^2 \sin \alpha \int_h^H [T_1^4 - T_2^4(H)] \\ \times \frac{H(1 + \operatorname{tg}^2 \alpha) - h \left(1 - \frac{\operatorname{tg}^2 \alpha}{2}\right)}{[(H - h)^2 + H^2 \operatorname{tg}^2 \alpha]^2} dH.$$

Cette énergie doit aussi être fournie par le métal par passage à travers la paroi de la sphère

$$(17) \quad Q = K \frac{\pi D_l D_a}{l} \Delta_3 T.$$

L'égalité des quantités (16) et (17) qui représentent l'énergie rayonnée sur la paroi du col conique du radiateur immergé, donne pour la chute de température dans la paroi de la sphère

$$(18) \quad \Delta_3 T = \frac{\varepsilon_2 \sigma}{K} \frac{d^2 h^2 \sin \alpha}{D_l D_a} \int_h^H (T_1^4 - T_2^4) \frac{H(1 + \operatorname{tg}^2 \alpha) - h \left(1 - \frac{\operatorname{tg}^2 \alpha}{2}\right)}{[(H - h)^2 + H^2 \operatorname{tg}^2 \alpha]^2} dH,$$

en posant $\varepsilon_1 = 1$.

4. CALCUL NUMÉRIQUE ET VÉRIFICATION EXPÉRIMENTALE. —

Il faut calculer maintenant l'influence de la grandeur de l'ouverture de la sphère sur la température mesurée au pyromètre au point de l'or. Les calculs et nos résultats de mesures se rapportent aux radiateurs fournis par la Staatlichen Porzellanmanufaktur, Berlin, pour lesquels

$$\begin{aligned} D_l &= 1,8 \text{ cm}, & \alpha &= 29^\circ 30', \\ D_a &= 2,2 \text{ cm}, & h &= 5,2 \text{ cm}, \\ l &= 0,2 \text{ cm}, & H &= 17,4 \text{ cm}, \\ d &= 0,45 \text{ cm}, \end{aligned}$$

Le facteur de réflexion de la porcelaine Marquardt a pour valeur, d'après Ribaud [2], $\rho = 0,5$. Pour le pouvoir émissif total à 1063°C , nous avons pris la valeur $\epsilon = 0,7$, d'après les mesures de Sieber [7].

La température de la paroi du cône a été mesurée avec un thermocouple Pt/Pt-Rh; elle est donnée à la figure 2.

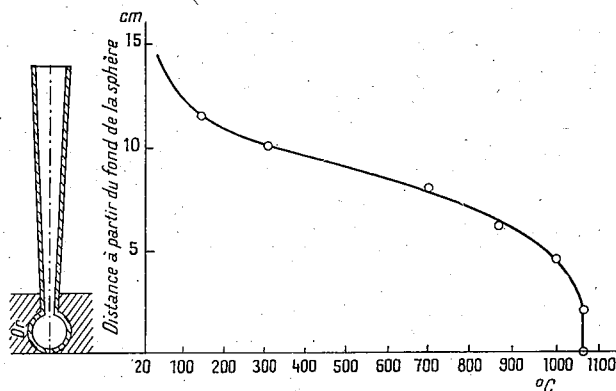


Fig. 2. — Répartition de la température dans le radiateur immergé au point de l'or.

Le résultat du calcul numérique est donné au tableau suivant

TABLEAU I.

Écart entre la température de luminance monochromatique du radiateur immergé et la température de l'or en fusion.

d (cm).	$\Delta_1 T$ (degré).	$\Delta_2 T$ (degré).	$\Delta_3 T$ (degré).	ΔT_{total} (degré).
0,1	0,01	0,00	0,07	0,08
0,15	0,04	0,00	0,16	0,20
0,2	0,07	0,00	0,29	0,36
0,3	0,15	0,01	0,64	0,80
0,4	0,27	0,01	1,14	1,42
0,45	0,34	0,02	1,44	1,80
0,6	0,60	0,03	3,54	4,17

On voit ainsi que $\Delta_3 T$ représente la plus grande partie de la correction totale. Les valeurs calculées sont en bon accord avec les valeurs mesurées par Tingwaldt et Kunz [5] et par nous-mêmes (fig. 3). Pour ces mesures, on a fait varier le diamètre de l'ouverture de la sphère de 0,1 à 0,45 cm, au moyen de dia-

phragmes circulaires en porcelaine de Marquardt et en stéatite placés sur l'ouverture de la sphère.

Dans ces mesures, on s'assurait que l'image de l'ouverture des diaphragmes, suffisamment agrandie, était seule visible dans le pyromètre, afin qu'aucune erreur de pointé ne soit causée par la luminance différente de la zone entourant le champ de mesure.

Pour le diamètre d'ouverture 0,6 cm, la formule (18) n'est pas directement utilisable, car elle n'est valable que pour $d \leq 2 h \operatorname{tg} \alpha$, h étant fixe. Pour calculer $\Delta_3 T$ avec une valeur

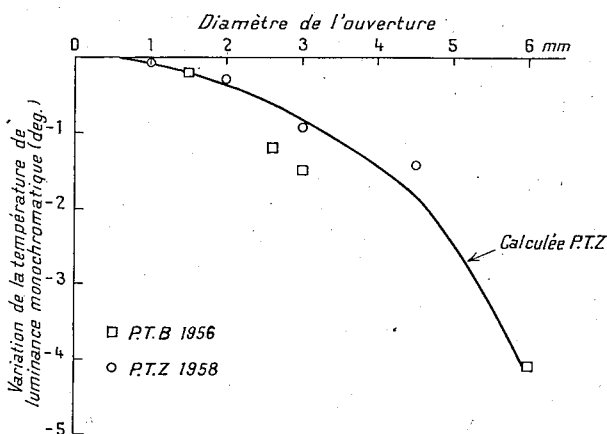


Fig. 3. — Variation de la température de luminance monochromatique en fonction du diamètre de l'ouverture du radiateur au point de l'or.

plus grande de d , nous devons, dans (18), remplacer h par sa valeur exprimée en fonction de d

$$(19) \quad h = \frac{d}{2 \operatorname{tg} \alpha}.$$

De plus, nous comptons maintenant H à partir de l'ouverture de la sphère; nous introduisons alors

$$(20) \quad H - \frac{d}{2 \operatorname{tg} \alpha} = H^* \quad (dH = dH^*)$$

comme nouvelle variable, puis nous supprimons l'astérisque. De (18) nous tirons ainsi

$$(18 a) \quad \Delta_3 T = \frac{\varepsilon_2 \sigma}{4K} \frac{d^4}{D_i D_a} \frac{l}{\operatorname{tg} \alpha} \int_0^{H^*} (T_1^4 - T_2^4) \frac{H(1 + \operatorname{tg}^2 \alpha) + \frac{3}{4} d \operatorname{tg} \alpha}{\left[H^2 + \left(H \operatorname{tg} \alpha + \frac{d}{2} \right)^2 \right]^2} dH.$$

L'expression (18a) est maintenant valable pour un radiateur de dimension quelconque, mais sans diaphragme. Elle donne également des valeurs en bon accord avec les valeurs expérimentales.

Dans nos mesures sur l'influence de l'ouverture de la sphère, reproduites à la figure 3, la surface du bain d'or se trouvait à 7 ou 8 mm au-dessus de la sphère.

En outre, pour la plus grande ouverture du radiateur ($d = 0,45$ cm), on a mesuré la relation entre la température de

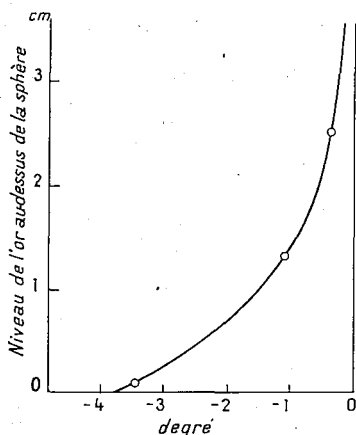


Fig. 4. — Variation de la température de luminance monochromatique en fonction de la profondeur d'immersion du radiateur au point de l'or.

luminance monochromatique et la profondeur d'immersion (fig. 4); on a établi que l'extrapolation pour une très grande profondeur d'immersion conduit à un résultat identique à celui de l'extrapolation pour une très petite ouverture de la sphère, comme cela doit être.

5. CONCLUSION. — Il est ainsi établi théoriquement et expérimentalement que des corrections doivent être appliquées pour le rattachement du pyromètre optique au point de congélation de l'or au moyen d'un radiateur immergé; dans le cas des mesures au Physikalisch-Technische Zentralinstitut ces corrections atteignaient au total 1,8 deg; elles ne peuvent pas être négligées étant donné que la précision actuelle de telles déterminations est de $\pm 0,2$ deg.

Je remercie C. Tingwaldt et H. Kunz pour leurs encouragements et leurs conseils au cours de ce travail, ainsi que mes collègues,

en particulier F. Böttcher, pour l'exécution consciencieuse des nombreuses mesures.

(20 juin 1958)

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] HENNING (F.), *Temperaturmessung*, Leipzig, 1951.
- [2] RIBAUD (G.), *Traité de Pyrométrie Optique*, Paris, 1931.
- [3] DE VOS (J. C.), *Physica*, 20, 1954, p. 669.
- [4] GOUFFÉ (A.), *Rev. Optique*, 24, 1945, p. 1.
- [5] TINGWALDT (C.) et KUNZ (H.), *Wiss. Abh. P.T.B.*, 9-1, 1957, p. 32.
- [6] MEYER ZUR CAPELLEN (W.), *Integraltafeln*, Berlin, 1950.
- [7] SIEBER (W.), *Z. Techn. Phys.*, 22, 1941, p. 130.

ANNEXE T 17

National Research Council (Canada)
National Bureau of Standards (États-Unis d'Amérique)
Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Allemagne)
Deutsches Amt für Mass und Gewicht (Allemagne)

RAPPORT SUR L'ÉTALONNAGE
DE DEUX LAMPES ÉTALONS SECONDAIRES
À RUBAN DE TUNGSTÈNE
PAR QUATRE LABORATOIRES NATIONAUX

Par D. R. LOVEJOY (N. R. C.), H. J. KOSTKOWSKI (N. B. S.),
H. KUNZ (P. T. B.), H. WAGENBRETH (D. A. M. G.)

(Traduction)

Résumé. — Deux lampes à ruban de tungstène ont été soigneusement étalonnées, l'une dans le domaine 800-1400° C et l'autre dans le domaine 1300-2200° C, dans chacun des quatre laboratoires nationaux suivants : D. A. M. G., N. B. S. (deux étalonnages), N. R. C. (deux étalonnages) et P. T. B. De plus, un étalonnage courant a été effectué dans un cinquième laboratoire, le National Physical Laboratory, Teddington, Royaume-Uni. Pour chaque lampe, les étalonnages en température de luminance en fonction du courant ont été ramenés à une série commune de longueurs d'onde. Une analyse des résultats montre que l'accord est satisfaisant entre les laboratoires dans le domaine 1063-2200° C de l'Échelle Internationale de Température. A chaque température, l'écart-type de la moyenne des sept étalonnages est inférieur ou égal à 1,2 deg dans le domaine 800-1400° C et à 2,9 deg dans le domaine 1300-2200° C. On ne peut probablement pas espérer mieux avec les méthodes actuelles.

1. DESCRIPTION GÉNÉRALE DES LAMPES
ET DE LA MÉTHODE D'ÉTALONNAGE.

Deux lampes étalons secondaires à ruban de tungstène de fabrication anglaise, l'une à vide (N° 421) pour le domaine 800 à 1400° C, l'autre à atmosphère gazeuse (N° 242) pour le domaine

1300 à 2200° C, ont été étalonnées dans chacun des quatre laboratoires nationaux suivants : D. A. M. G., N. B. S. (deux étalonnages), N. R. C. (deux étalonnages) et P. T. B. De plus, un étalonnage courant a été effectué dans un cinquième laboratoire, le N. P. L.

Chaque lampe était étalonnée en position verticale du ruban, le réglage étant effectué à l'aide de fils à plomb; le pyromètre visait le centre du ruban indiqué par une encoche, le repère marqué sur l'ampoule de verre étant en coïncidence avec l'encoche dans le champ du pyromètre; le ruban était entre l'axe de la lampe et le pyromètre. Le plot central de la lampe était relié au pôle positif.

Pour chaque lampe, la température correspondant à chacune des sept intensités de courant était mesurée dans chaque laboratoire, les mêmes intensités de courant étant partout utilisées. Dans chaque cas, la température relevée a été corrigée pour correspondre à une même longueur d'onde effective moyenne (tableau I); les températures ont été arrondies au degré. Sauf pour l'étalonnage courant du N. P. L. sur la lampe N° 421, les valeurs indiquées à chaque intensité de courant sont les valeurs réellement observées, sans lissage.

2. MÉTHODE D'ÉTALONNAGE AU N. R. C.

Les lampes ont été étalonnées avec le pyromètre optique étalon primaire du N. R. C., du type à disparition de filament. Cet appareil comprenait le système optique d'un pyromètre commercial, avec une ouverture d'entrée de 0,16 rad et une ouverture de sortie de 0,06 rad répondant au critère de Fairchild et Hoover [1]. Le champ angulaire était limité par un diaphragme de 0,03 rad environ.

L'appareil possède deux lampes pyrométriques à filament plat, rigidement fixées sur une glissière, ce qui permet de les utiliser à tour de rôle. L'une des lampes, de fabrication anglaise, est analogue à celles qui sont utilisées dans l'appareil étalon du N. P. L.; l'autre est de fabrication américaine. Leurs caractéristiques de fonctionnement sont sensiblement les mêmes.

Les longueurs d'onde effectives moyennes du filtre rouge ont été calculées de la façon classique en utilisant le facteur de transmission monochromatique mesuré et la courbe des efficacités lumineuses C. I. E. 1931.

Les lampes du pyromètre ont été étalonnées séparément avec un four horizontal à point de solidification de l'or semblable à celui du N. P. L. [2], et un jeu de onze disques à secteurs tournants étalonnés. Pour la mesure des températures au-dessus de 1400° C, on a utilisé l'un des deux verres absorbants, étalonnés séparément

à l'aide des secteurs tournants. A partir des facteurs de transmission monochromatique effectifs ainsi obtenus et à partir des longueurs d'onde effectives moyennes du verre rouge, il était possible de calculer les longueurs d'onde effectives moyennes de l'ensemble verre absorbant-verre rouge. Pour ce travail, on utilisait une lampe à ruban de tungstène comme source intermédiaire.

On réglait le courant de chaque lampe étalon secondaire par la mesure de la différence de potentiel aux bornes d'une résistance étalon de $0,01 \Omega$ en série avec la lampe. La température de luminance correspondante était mesurée en prenant la moyenne de dix lectures au pyromètre optique primaire pour chacun des deux observateurs et pour chacune des deux lampes. Pour obtenir l'égalité de luminance avec la source, une moitié des lectures a été faite en réduisant la luminance de la lampe du pyromètre optique, l'autre moitié en l'augmentant. Au total, quarante égalisations ont été effectuées pour chaque intensité de courant; ces égalisations font apparaître, sur leur moyenne, un écart-type allant de $0,3 \text{ deg}$ au voisinage du point de l'or à $2,0 \text{ deg}$ environ aux températures les plus hautes et les plus basses. La température ambiante au cours de l'étalonnage était de 20° C .

3. MÉTHODE D'ÉTALONNAGE AU N. B. S.

Les lampes ont été étalonnées avec le pyromètre optique étalon du N. B. S. conçu par Fairchild et Hoover [1]; ce pyromètre, du type à disparition de filament, utilise une lampe pyrométrique à filament de tungstène d'environ 40μ de diamètre; il a été étalonné au point de l'or à l'aide d'un corps noir vertical avec un prisme réflecteur à 45° . Pour les températures supérieures et inférieures au point de l'or, un disque à secteurs tournants étalonnés et des lampes à ruban de tungstène étaient employés avec des longueurs d'onde effectives moyennes calculées à partir de la courbe des efficacités lumineuses C. I. E. 1931 et des facteurs de transmission mesurés du verre rouge et des verres absorbants.

Les lampes à ruban de tungstène N° 421 et N° 242 ont été étalonnées dans les conditions indiquées au paragraphe 1. La température ambiante était de 25° C . L'intensité du courant d'alimentation des lampes était réglée par la mesure potentiométrique de la différence de potentiel aux bornes d'une résistance étalon de $0,001 \Omega$. Chacun des deux observateurs effectuait à tour de rôle au moins deux séries de mesure de la température de luminance. Une série comprenait quatre égalisations de la luminance, deux par accroissement du courant de la lampe pyrométrique et deux par réduction. L'écart-type sur la moyenne de ces 16 égalisations ou davantage est de $0,7 \text{ deg}$ à 800° C ,

0,3 deg à 1100° C et 0,8 deg à 2 216° C. La température de luminance moyenne, pour chaque valeur du courant d'alimentation, a été ramenée à la longueur d'onde effective moyenne donnée au tableau I et arrondie au degré.

TABLEAU I.

Longueurs d'onde effectives moyennes.

T_L	λ_e
800° C	0,656 6 μ
900	0,654 4
1 000	0,654 5
1 100	0,653 8
1 200	0,653 2
1 300	0,652 6
1 400	0,653 8
1 500	0,653 3
1 600	0,653 0
1 700	0,652 6
1 800	0,652 7
1 900	0,652 8
2 000	0,652 8
2 100	0,653 0
2 200	0,652 8

4. MÉTHODE D'ÉTALONNAGE A LA P. T. B.

La température de luminance des deux lampes à ruban de tungstène, alimentées aux intensités de courant spécifiées, a été mesurée avec le pyromètre étalon de la P. T. B. Cet appareil, construit dans notre laboratoire, ressemble du point de vue mécanique au pyromètre du N. B. S.; il se distingue du pyromètre de type commercial en ce sens qu'un deuxième objectif, placé derrière la lampe du pyromètre, donne une image du filament de la lampe et de l'objet visé dans le plan d'un diaphragme qui délimite le champ de vision; l'oculaire est mis au point sur cette image. Le cône des rayons qui tombent sur le filament du pyromètre a une ouverture angulaire $\alpha = 0,08$ rad; le cône des rayons qui pénètrent dans le système oculaire a une ouverture angulaire $\beta = 0,05$ rad, ce qui correspond à peu près au critère de Fairchild et Hoover [1].

La lampe pyrométrique utilisée (fabriquée par Osram, Berlin) avait une fenêtre plan-parallèle et un filament de 0,05 mm de diamètre; elle pouvait être déplacée sur une glissière perpendi-

culairement à l'axe optique. Le filtre était un verre rouge du type RG 2 (fabriqué par Schott, Mayence); à partir du facteur de transmission spectrale du filtre, on calculait les longueurs d'onde effectives par la méthode classique, à l'aide des efficacités lumineuses de la C. I. E.

Le pyromètre étalon était rattaché au point de l'or tous les six mois, par des mesures de pratique courante; dans le cas présent, il l'a été avant et après les mesures sur les lampes à ruban de tungstène. Le rattachement a été fait de deux façons : d'après la méthode de Hoffmann et Meissner [3], et par comparaison à un corps noir horizontal plongé dans de l'or en fusion suivant Tingwaldt et Kunz [4]. Avec un secteur tournant et en employant une lampe à ruban comme source secondaire, on réalisait l'échelle du pyromètre directement du point de l'or jusqu'à 1300° C. La mesure des lampes à ruban aux températures supérieures à 1300° C s'effectuait par réduction au domaine inférieur à 1300° C à l'aide du secteur tournant ou de l'ensemble secteur tournant-verre absorbant (verre gris de Schott). La transmission effective du verre absorbant était calculée à partir des transmissions spectrales, et le résultat du calcul était vérifié au secteur tournant. Contrairement à l'habitude, les longueurs d'onde effectives ont été déduites des observations faites sur le verre absorbant par la méthode décrite par Hoffmann et Tingwaldt [5].

Les intensités de courant de la lampe pyrométrique étaient obtenues par la mesure, à l'aide d'un potentiomètre Diesselhorst, de la chute de tension aux bornes d'une résistance étalon de 0,1 Ω en série avec la lampe.

Deux observateurs ont participé aux mesures, chacun d'eux effectuant au moins dix égalisations photométriques pour chaque valeur de l'intensité de courant. L'écart-type par rapport à la valeur moyenne de la température est $\pm 0,3$ deg au point de l'or, $\pm 0,7$ deg à 800° C et $\pm 1,3$ deg à 2 200° C.

Durant les observations, la température ambiante a été maintenue à 22° C.

5. MÉTHODE D'ÉTALONNAGE AU D. A. M. G.

Les lampes ont été mesurées avec le pyromètre étalon V 3003 du D. A. M. G.; c'est un pyromètre à disparition de filament, construit il y a environ 35 ans à la P. T. R. suivant les plans de Henning et qui, depuis lors, s'est montré très sûr. Dans ce pyromètre, l'ouverture angulaire de l'objectif est de 0,06 rad; celle de l'oculaire, diaphragmé par une pupille de 1,25 mm de diamètre, est de 0,03 rad. Une égalisation parfaite est rendue possible par disparition complète du filament. La lampe pyrométrique, fabri-

quée par Osram, est fixe. Pour l'obtention d'un rayonnement quasi monochromatique, on utilisait un filtre rouge de 4 mm d'épaisseur en verre RG 2 de Schott, Iéna.

Ce pyromètre a été étalonné en 1945-1946 par F. Hoffmann. Le rattachement au point de l'or a été fait avec un corps noir constitué d'une enceinte sphérique munie d'un tube conique en porcelaine Marquardt et immergée dans l'or en fusion, comme Hoffmann l'a déjà décrit [3]. Pour le domaine de température de 760 à 1200° C, on a employé un jeu de quatre disques à secteurs soigneusement étalonnés. Pour les températures plus élevées, on a utilisé un verre gris de 1200 à 1400° C, deux verres gris de 1400 à 1800° C, et trois verres gris de 1800 à 2200° C; ces verres ont été étudiés au secteur tournant. Depuis 1946, le rattachement au point de l'or a été répété tous les deux ou trois ans, ce qui a permis de s'assurer de la très bonne tenue de la lampe pyrométrique. Les valeurs des températures qui sont données dans ce Rapport s'appuient sur notre détermination au point de l'or de février 1958. Les erreurs, susceptibles d'affecter les nouvelles mesures effectuées suivant la méthode indiquée [4], ont été étudiées expérimentalement et par le calcul, ce qui a conduit à un même résultat.

La longueur d'onde effective limite du filtre rouge a été calculée par la méthode de Foote [6], à partir de sa transmission obtenue par mesures photométriques et à partir de la courbe de sensibilité de l'œil normal. On en a déduit alors la longueur d'onde effective à utiliser pour la mesure des lampes à ruban de tungstène, compte tenu de la température de couleur du ruban de tungstène relevée dans les tables.

Les intensités de courant traversant la lampe à ruban et la lampe du pyromètre ont été mesurées au potentiomètre. Chacune des valeurs données est la moyenne d'un groupe de 20 à 40 valeurs individuelles de deux observateurs. La dispersion des valeurs est de $\pm 0,5$ deg dans le milieu du domaine de température; elle atteint $\pm 1,0$ deg à 2200° C, et $\pm 1,2$ deg à 800° C.

La température ambiante était de 20° C.

6. INDICATIONS SUR L'ÉTALONNAGE COURANT DU N. P. L.

Le rapport H 3357 du 17 septembre 1947 concerne la lampe N° 242 et le rapport H 4049 (a) du 17 avril 1951 la lampe N° 421. L'étalonnage de la lampe N° 242 a été modifié pour tenir compte du passage de l'Échelle Internationale de Température de 1927 à celle de 1948; les étalonnages des deux lampes ont été ramenés aux longueurs d'onde effectives moyennes du tableau I, à l'aide de données fournies par le N. P. L. au N. R. C. [7]. La température ambiante lors de l'étalonnage de la lampe N° 242 était maintenue à 24° C, et pour la lampe N° 421 à 18° C.

7. DISCUSSION DES RÉSULTATS.

Les résultats, y compris ceux du N. P. L., sont donnés au tableau II; pour chaque température, les sept valeurs sont accompagnées de leur moyenne et de l'écart-type correspondant. Les causes d'erreur qui affectent les étalonnages sont de deux sortes. Premièrement, celles qui proviennent de l'emploi de lampes à ruban de tungstène comme étalons secondaires; elles ont été étudiées par Barber [8] pour des lampes du type employé dans cette comparaison, et sont résumées dans la première partie du tableau III. Deuxièmement, les causes d'erreur dans la réalisation de l'Échelle Internationale de Température, inhérentes à la pyrométrie optique; elles sont résumées dans la deuxième partie du tableau III, en se référant aux incertitudes d'étalonnage et à l'emploi du pyromètre optique du N. R. C.

TABLEAU II.

Étalonnage en température de luminance de deux lampes étalons secondaires, dans cinq Laboratoires nationaux.

Lampe N° 421.

Ampères.	NPL*.	DAMG 1958.	NBS		NRC		PTB 1957.	Moyenne (°C).	Écart- type (deg):
			1957.	1958.	1957.	1958.			
3,15	800	796	799	798	797	798	798	798	1,2
3,62	900	898	899	899	897	898	898	898	1,0
4,21	1 000	1 000	1 000	1 000	998	999	1 000	1 000	0,8
4,92	1 101	1 103	1 102	1 103	1 102	1 103	1 103	1 102	0,8
5,70	1 201	1 204	1 202	1 202	1 201	1 203	1 203	1 202	1,0
6,55	1 301	1 304	1 301	1 302	1 301	1 302	1 303	1 302	1,0
7,44	1 401	1 402	1 400	1 401	1 402	1 399	1 401	1 401	1,0

Lampe N° 242.

8,62	1 271	1 268	1 269	1 267	1 269	1 267	1 267	1 268	1,4
9,77	1 423	1 419	1 420	1 420	1 419	1 416	1 420	1 420	2,0
10,90	1 553	1 549	1 548	1 550	1 549	1 550	1 550	1 550	1,4
12,99	1 764	1 761	1 760	1 760	1 762	1 764	1 763	1 762	1,6
15,07	1 953	1 951	1 951	1 950	1 952	1 953	1 953	1 952	1,1
16,16	2 050	2 043	2 044	2 043	2 043	2 048	2 048	2 046	2,9
18,28	2 218	2 215	2 217	2 216	2 218	2 220	2 219	2 218	1,6

* Étalonnage courant effectué en 1947 pour la lampe N° 242 et en 1951 pour la lampe N° 421.

Dans tout le domaine de température, l'erreur est partagée à peu près également entre la lampe et la pyrométrie optique. Dans le domaine de température inférieur, couvert par la lampe à vide, l'écart-type estimé varie de 0,7 deg au point de l'or à

TABLEAU III.

Causes d'erreur dans les étalonnages.

	Lampe à vide			Lampe à atmosphère gazeuse	
	800	1100 (deg)	1400°C	1500	2200°C (deg)
1. Erreurs dues à la lampe					
Stabilité d'étalonnage après plusieurs heures à haute température.....	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Erreur de 2° sur l'angle de visée (mauvaise coïncidence du repère sur l'ampoule et de l'encoche).....	0	0	0,2	0,3	0,5
Erreur de 1 mμ sur la longueur d'onde effective moyenne.....	0	0	0,2	0,3	0,5
Ruban de la lampe incliné de 2°.....	0	0	0	1,0	0
Variation de la température ambiante de 2 deg.....	0,3	0	0	0	0
2. Erreurs dues au pyromètre optique					
Erreur de 0,3 deg au point de l'or...	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0
Erreur d'étalonnage des disques à secteurs-tournants.....	0,5	0	0,3	0,5	0,7
Erreur de 0,5 mμ sur la longueur d'onde effective au cours de l'étalonnage des disques.....	0,2	0	0,3	0,4	1,6
Erreur d'égalisation photométrique...	<u>1,0</u>	<u>0,3</u>	<u>0,5</u>	<u>1,0</u>	<u>1,0</u>
Écart-type total, si les erreurs ci-dessus sont des écarts-types.....	1,3	0,7	1,0	1,8	2,4

1,3 deg à 800° C et 1,0 deg à 1400° C. Dans le domaine de température supérieur, couvert par la lampe à atmosphère gazeuse, l'écart-type estimé varie de 1,8 deg à 1500° C à 2,4 deg à 2.200° C. Cette estimation est en bon accord avec les écarts effectivement observés, qui n'excèdent jamais 1,2 deg pour la lampe à vide et 2,9 deg pour la lampe à atmosphère gazeuse.

Cet accord entre les sept étalonnages, effectués dans cinq laboratoires nationaux, est probablement aussi bon qu'on pouvait l'espérer dans l'utilisation de lampes à ruban de tungstène comme étalons secondaires, étalonnées visuellement au pyromètre optique.

(Mai 1958)

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] FAIRCHILD (C. O.) et HOOVER (W. H.), *J. Opt. Soc. Amer.*, 7, 1923, p. 543.
- [2] BARBER (C. R.), *J. Sc. Instr.*, 27, 1950, p. 47.
- [3] HOFFMANN (F.) et MEISSNER (W.), *Ann. Phys.*, 60, 1919, p. 201.
- [4] TINGWALDT (C.) et KUNZ (H.), *Wiss. Abh. P. T. B.*, 9-1, 1957, p. 32;
Optik, 15, 1958 (sous presse).
- [5] HOFFMANN (F.) et TINGWALDT (C.), *Z. f. Instrkde*, 59, 1939, p. 20-30.
- [6] FOOTE (P. D.), *Bull. Bureau of Standards*, 12, 1916, p. 483.
- [7] Communication privée du N. P. L. au N. R. C., 3 juillet 1950.
- [8] BARBER (C. R.), *J. Sc. Instr.*, 23, 1946, p. 238.

ANNEXE T 18

Institut de Métrologie D. I. Mendéléev (U. R. S. S.)

NOUVELLE MÉTHODE
 POUR L'ÉTALONNAGE DES PYROMÈTRES OPTIQUES.
 NOUVEAU PYROMÈTRE OPTIQUE
 DE PRÉCISION (1)

Par V. E. PHINKELSCHEIN et V. V. KANDIBA

(Traduction)

On sait que l'étalonnage d'un pyromètre optique dans le domaine des hautes températures est effectué à l'aide d'un système de gradation qui permet de réaliser l'égalisation de la luminance d'un corps noir à la température T avec celle d'un corps noir à une température plus basse T_0 (2).

L'équation sur laquelle est basée l'extrapolation a la forme suivante

$$(1) \int_0^{\infty} \lambda^{-5} \left(e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1 \right)^{-1} \tau'_\lambda V_\lambda \tau_\lambda d\lambda = \int_0^{\infty} \lambda^{-5} \left(e^{\frac{c_2}{\lambda T_0}} - 1 \right)^{-1} V_\lambda \tau_\lambda d\lambda,$$

où τ'_λ , facteur de transmission du verre absorbant pour la lumière de longueur d'onde λ ;

τ_λ , facteur de transmission du verre rouge du pyromètre;

V_λ , efficacité lumineuse relative de l'œil.

Comme systèmes de gradation on utilise ordinairement des verres absorbants, ce qui entraîne une diminution sensible de la précision dans la reproduction de l'échelle de température, car l'erreur de la mesure du facteur de transmission pour le verre absorbant est très grande.

(1) *Trud. Inst. Metrol. D. I. Mendeleev*, n° 36 (96), 1958, p. 16.

(2) Nous appellerons cette grandeur « température de luminance apparente ». Pratiquement, T_0 est toujours choisie inférieure à 2 000° K.

Il est cependant possible de montrer que la relation entre T et T₀ peut être déterminée par l'expérience sans la résolution de l'équation (1) ni la mesure de la grandeur τ'_λ [1, 2].

Il est à noter qu'on peut simplifier le membre de droite de l'équation (1) en remplaçant l'expression $\left(e^{\frac{C_2}{\lambda T_0}} - 1\right)^{-1}$ par $e^{-\frac{C_2}{\lambda T_0}}$. Comme T₀ est inférieure à 2 000 °K, l'erreur est négligeable.

Introduisons la grandeur auxiliaire T_w définie par l'équation

$$(2) \quad \int_0^\infty \lambda^{-5} \left(e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1\right)^{-1} \tau'_\lambda V_\lambda \tau_\lambda d\lambda = \int_0^\infty \lambda^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda T_w}} \tau'_\lambda V_\lambda \tau_\lambda d\lambda.$$

Au lieu de l'équation (1) on peut alors écrire

$$(3) \quad \int_0^\infty \lambda^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda T_w}} \tau'_\lambda V_\lambda \tau_\lambda d\lambda = \int_0^\infty \lambda^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda T_0}} V_\lambda \tau_\lambda d\lambda.$$

Le système des équations (2) et (3) est équivalent à l'équation (1) et permet de trouver la relation entre T et T₀ par la méthode des approximations successives sous la forme de la somme suivante

$$(4) \quad T = T_w + \Delta T,$$

où T_w est le résultat de la résolution de l'équation (3), et ΔT = T - T_w la correction calculée à l'aide de l'équation (2).

On sait que la résolution de l'équation (3) peut s'écrire sous la forme

$$(5) \quad \frac{I}{T_0} - \frac{I}{T_w} = A.$$

Appelons la grandeur A, déterminée par les équations (3) et (5), la « grandeur d'affaiblissement pyrométrique du verre absorbant » et considérons A comme fonction de la température de luminance apparente T₀ (3). Nous allons employer plus loin cette définition formelle, indépendamment de la grandeur de la différence entre les formules de Wien et de Planck.

L'affaiblissement pyrométrique du verre absorbant pour la mesure à une haute température quelconque T₂, à laquelle correspond la température de luminance apparente T_{0,2}, est déterminé par le système des deux équations

$$(6) \quad \int_0^\infty \lambda^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda T_w}} \tau'_\lambda V_\lambda \tau_\lambda d\lambda = \int_0^\infty \lambda^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda T_{0,2}}} V_\lambda \tau_\lambda d\lambda,$$

$$(7) \quad A(T_{0,2}) = \frac{I}{T_{0,2}} - \frac{I}{T_w}.$$

(3) T_w est fonction de la variable indépendante T₀.

Nous avons pour but de déterminer la valeur de $A(T_{0,2})$, c'est-à-dire de trouver la relation entre $T_{0,2}$ et $T_{w,2}$.

Pour justifier la méthode expérimentale de la détermination de $A(T_{0,2})$, supposons que l'oculaire du pyromètre soit muni d'un verre coloré supplémentaire dont le facteur de transmission pour la longueur d'onde λ est égal à

$$(8) \quad \tau_{\lambda}^0 = \varepsilon e^{-\frac{\alpha C_2}{\lambda}},$$

ε et α étant certaines constantes positives.

En désignant par $A'(T_{0,1})$ l'affaiblissement pyrométrique du verre absorbant du pyromètre avec son verre supplémentaire pour une certaine température de luminance apparente $T_{0,1}$, nous avons

$$(9) \quad A'(T_{0,1}) = \frac{I}{T_{0,1}} - \frac{I}{T'_{w,1}},$$

où $T'_{w,1}$ est une nouvelle grandeur auxiliaire déterminée par l'équation

$$(10) \quad \int_0^{\infty} \lambda^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda T_{0,1}}} \tau_{\lambda}' V_{\lambda} \tau_{\lambda} e^{-\frac{\alpha C_2}{\lambda}} d\lambda = \int_0^{\infty} \lambda^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda T_{0,1}}} V_{\lambda} \tau_{\lambda} e^{-\frac{\alpha C_2}{\lambda}} d\lambda.$$

Si

$$(11) \quad \frac{I}{T_{0,2}} = \frac{I}{T_{0,1}} - \alpha,$$

les membres de droite des équations (10) et (6) sont alors identiques et l'on peut égaliser les membres de gauche de ces équations. Il en résulte que

$$(12) \quad -\frac{I}{T_{w,2}} = -\frac{I}{T'_{w,1}} + \alpha = -\frac{I}{T'_{w,1}} + \left(\frac{I}{T_{0,1}} - \frac{I}{T_{0,2}} \right).$$

En substituant $\frac{I}{T'_{w,1}}$ de (12) dans (9) on obtient

$$(13) \quad A'(T_{0,1}) = \frac{I}{T_{0,1}} - \frac{I}{T'_{w,1}} = \frac{I}{T_{0,2}} - \frac{I}{T_{w,2}} = A(T_{0,2}).$$

Donc, l'affaiblissement pyrométrique cherché $A(T_{0,2})$, correspondant à la température de luminance apparente $T_{0,2}$, est égal à l'affaiblissement pyrométrique qu'on obtient pour la température de luminance apparente $T_{0,1}$ si l'oculaire du pyromètre est muni d'un verre coloré supplémentaire et satisfait aux conditions (8) et (11), c'est-à-dire

$$(14) \quad \tau_{\lambda}^0 = \varepsilon e^{-\frac{C_2}{\lambda} \left(\frac{1}{T_{0,2}} - \frac{1}{T_{0,1}} \right)}.$$

Cette méthode donne la possibilité de remplacer la mesure de $A(T_{0,2})$ par celle de $A'(T_{0,1})$. La détermination de $A'(T_{0,1})$ ne présente aucune difficulté grâce au fait qu'à la température de luminance apparente $T_{0,1}$ correspondent des valeurs T et T_{iv} plus basses que pour la température de luminance apparente $T_{0,2}$, d'après la condition $T_{0,1} < T_{0,2}$.

Si, par exemple, à la valeur $T_{0,2} = 1700^\circ \text{K}$ correspond la température $T = 6300^\circ \text{K}$, alors à la valeur $T_{0,1} = 1200^\circ \text{K}$ correspond (en utilisant le même verre absorbant) la valeur $T \approx 2500^\circ \text{K}$.

On peut négliger la différence $\Delta T = T - T_{iv}$ aux températures inférieures à 3000°K . C'est pourquoi dans la détermination de $A'(T_{0,1})$ il est suffisant de mesurer simultanément T_1 et $T_{0,1}$, en visant le corps noir (ou une lampe à ruban) dont la température ne dépasse pas 2200 à 2500°C .

Il ne faut pas perdre de vue que la relation entre l'intensité du courant i dans une lampe pyrométrique et la température de luminance apparente T_0 , c'est-à-dire la température du corps noir sur le fond duquel (en enlevant le verre absorbant) le filament disparaît, varie si l'on remplace le verre rouge du pyromètre. C'est pourquoi il faut déterminer d'avance cette relation pour chaque verre coloré auxiliaire (à la température $T_{0,1}$).

Comme l'indique l'équation (14), la transmission du verre coloré supplémentaire monté sur l'oculaire est déterminée, à une constante arbitraire près, par les températures de luminance apparentes $T_{0,1}$ et $T_{0,2}$. Une seule combinaison de verres colorés permet donc d'effectuer l'étude des verres absorbants de tous les pyromètres.

La densité optique D_λ du verre coloré supplémentaire pour la lumière de longueur d'onde λ , doit satisfaire à l'équation

$$(15) \quad D_\lambda = a - \frac{b}{\lambda},$$

où

$$a = -\log \varepsilon \quad \text{et} \quad b = -C_2 \left(\frac{1}{T_{0,2}} - \frac{1}{T_{0,1}} \right) \log e.$$

Les verres colorés obtenus par un collage de quelques verres bleu-vert satisfont bien à la condition (15). Les détails concernant la préparation de ces verres colorés ont été décrits dans d'autres articles [2, 3]. La fig. 1 montre la relation entre D_λ et $\frac{1}{\lambda}$ obtenue au cours de l'étude d'un des verres colorés.

En modifiant les épaisseurs des verres on peut fabriquer une combinaison qui permet d'obtenir, toujours pour la même valeur de $T_{0,1}$, des valeurs de A correspondant aux différentes $T_{0,2}$.

La déduction de l'équation (13) est tout à fait rigoureuse si l'on emploie un verre coloré satisfaisant à l'équation (8). Cependant, en pratique, un verre coloré ne satisfait à cette condition qu'avec une certaine approximation; c'est pourquoi des erreurs peuvent avoir lieu dans la mesure de $A(T_{0,2})$. Ces erreurs peuvent être évaluées de la manière suivante.

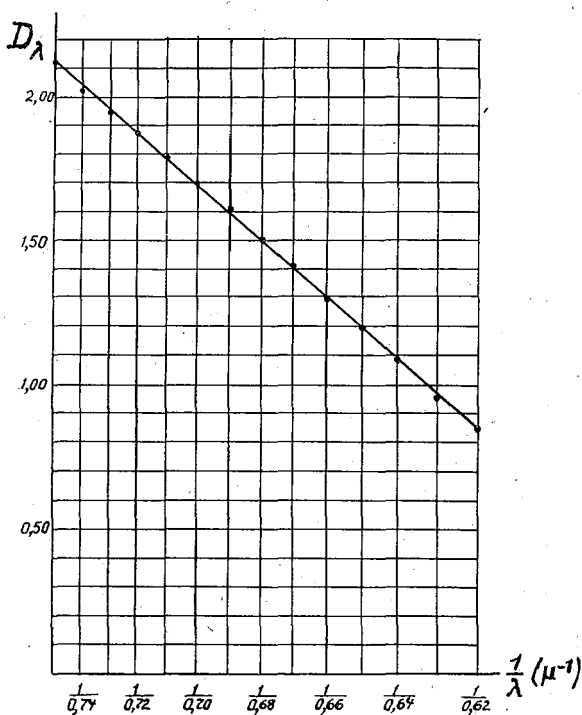


Fig. 1.

Dessignons le graphique représentant la densité optique D_λ du verre coloré supplémentaire de l'oculaire en fonction de $\frac{1}{\lambda}$ (courbe l sur la fig. 2). Par chaque point de la courbe l (par exemple par le point B) traçons deux lignes droites m et n de manière que tous les points de la courbe l soient compris entre ces droites et que l'angle γ , formé par l'intersection des droites m et n , ait une valeur minimum.

Choisissons entre toutes les droites n une droite n' qui forme un angle minimum avec l'axe des abscisses, et entre toutes les droites m une droite m' qui forme un angle maximum avec l'axe des abscisses.

Après avoir fait les calculs correspondants, on peut montrer [3] que la valeur de l'affaiblissement pyrométrique obtenu en utilisant le verre supplémentaire de l'oculaire caractérisé par la courbe l , se trouve entre les valeurs que nous obtiendrions en utilisant les verres caractérisés par les droites n' et m' . En d'autres termes, l'affaiblissement pyrométrique obtenu se trouve entre les valeurs voisines $A(T_{0,m'})$ et $A(T_{0,n'})$, les grandeurs $T_{0,m'}$ et $T_{0,n'}$ étant déterminées d'après $T_{0,1}$ et les angles d'inclinaison des droites m' et n' .

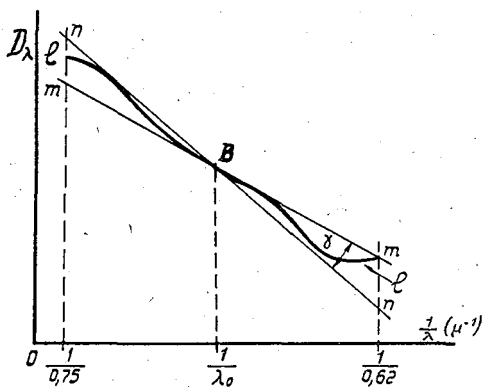


Fig. 2.

C'est pourquoi on peut constater que le module de l'erreur de $A(T_{0,2})$ est en tout cas plus petit que le module de la différence $A(T_{0,m'}) - A(T_{0,n'})$. Ceci permet d'évaluer l'ordre de grandeur de la variation de A avec la température (d'après le résultat d'expériences avec plusieurs verres d'oculaire) ainsi que la valeur de la différence ($T_{0,m'} - T_{0,n'}$) et d'évaluer immédiatement l'importance des erreurs de mesure de $A(T_{0,2})$.

La méthode indiquée pour l'évaluation de l'erreur est surtout commode dans le cas où le résultat des mesures avec les différents verres colorés conduit à $A = \text{const.}$ (*). Dans ce cas, on peut affirmer que l'erreur de la détermination de la valeur de l'affaiblissement pyrométrique est nulle.

Même dans le cas où A n'est pas constant, l'erreur de la méthode est très petite, comme le montre la courbe, très voisine d'une droite, d'un verre coloré que nous avons utilisé (fig. 1).

(*) De tels verres absorbants ont été utilisés dans le pyromètre 30П-51М décrit plus loin.

Le dernier problème qu'il faut résoudre pour l'étalonnage du pyromètre optique consiste à calculer la correction due à l'imprécision de la formule de Wien dans le domaine des hautes températures. Comme nous l'avons déjà indiqué, la valeur de cette correction, $\Delta T = T - T_w$, est déterminée par l'équation (2).

À première vue, il semble que la valeur de la correction ΔT doit bien dépendre de τ_λ , c'est-à-dire de la transmission du verre absorbant. Cependant, il n'en est pas ainsi [3] dans beaucoup de cas pratiquement essentiels lorsqu'on emploie des verres absorbants dont la valeur de l'affaiblissement pyrométrique est relativement peu sensible à la variation de la température à mesurer.

Dans ces cas, la résolution de l'équation (2) peut être écrite sous la forme suivante

$$(16) \quad \frac{C_2}{e^{\lambda_e T} - 1} = \frac{C_2}{e^{\lambda_e T_w}}$$

où λ_e est la longueur d'onde effective limite du verre rouge du pyromètre à la température T_0 , correspondant à T.

L'équation (16) ne se distingue de celle bien connue pour la lumière monochromatique que parce qu'on a précisé, au cours de sa déduction, laquelle des valeurs de la longueur d'onde doit être employée pour le calcul de ΔT si le verre rouge du pyromètre transmet un large intervalle spectral.

La méthode décrite a été employée pour l'étalonnage d'un nouveau pyromètre optique visuel de précision du type ЭОП-51 М. Cet appareil est destiné à des travaux métrologiques pour la reproduction et le transfert de l'Échelle Internationale de Température, pour l'étalonnage des lampes pyrométriques ainsi que pour les mesures précises des hautes températures en vue des recherches scientifiques [3, 4, 5].

L'appareil est construit d'après le schéma classique du pyromètre à filament disparaissant; son aspect général est donné par la fig. 3.

L'objectif du pyromètre a un diamètre de 80 mm et une ouverture 1 : 3; il est muni d'une lentille asphérique grâce à laquelle l'aberration a été très diminuée; le diamètre du cercle d'aberration sphérique pour la lumière monochromatique ne dépasse pas 0,01 mm.

Le pyromètre est muni de trois lampes pyrométriques à filament plat. La substitution d'une lampe pyrométrique à l'autre s'effectue par un simple tour de manivelle, ce qui assure un contrôle permanent de la stabilité d'étalonnage du pyromètre.

La longueur d'onde effective du verre rouge du pyromètre est 0,665 μ . Devant le verre rouge on peut placer un diaphragme de 2 mm d'ouverture. Ce diaphragme diminue l'intensité, sans changer la composition spectrale du flux lumineux atteignant

l'œil de l'observateur. L'utilisation d'un tel diaphragme permet d'obtenir au cours des mesures la brillance la plus commode pour l'œil.

Le pyromètre est muni de quatre verres absorbants destinés à étendre le domaine de l'échelle. En outre, sa construction permet d'employer des secteurs tournants comme systèmes de gradation.

La combinaison des verres absorbants (pour les mesures des températures jusqu'à 3 000° C) est montée sur un support tournant situé entre l'objectif et la lampe pyrométrique.

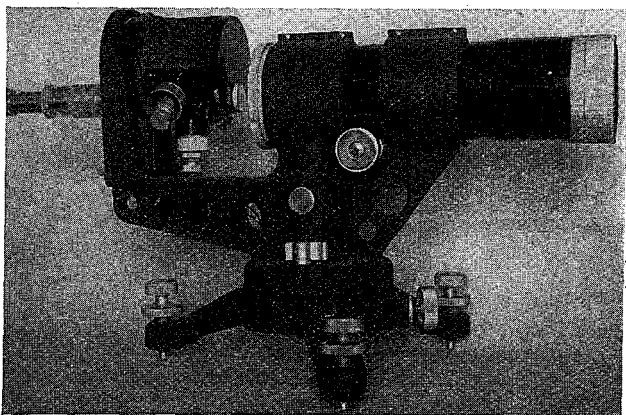


Fig. 3.

Le verre absorbant supplémentaire (п-6 000), destiné aux mesures dans l'intervalle 2 500-6 000° C, a un diamètre de 80 mm; il est placé devant le tube de l'objectif du pyromètre afin de diminuer son échauffement au cours des mesures aux hautes températures [5].

En introduisant simultanément les deux systèmes de verres absorbants — le verre п-6 000 et la combinaison de verres colorés, montés sur un support commun — on a la possibilité d'effectuer des mesures dans l'intervalle 3 000-10 000° C.

Les écarts moyens quadratiques du pyromètre ЭОП-51М sont donnés dans le tableau suivant.

Température.	Écart moyen quadratique.
1 400°С	0,1 %
2 000	0,2
6 000	1,0
10 000	1,5

(Avril 1958)

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] PHINKELSCHTEIN (V. E.), *Izmeritelnaia Tekhnika*, 1956, n° 4, p. 31.
- [2] PHINKELSCHTEIN (V. E.), *Trud. Inst. Metrol. D. I. Mendeleev*, 1958, n° 35 (95).
- [3] KANDIBA (V. V.), *Izmeritelnaia Tekhnika*, 1956, n° 1, p. 36.
- [4] PHINKELSCHTEIN (V. E.), SPIGUELMAN (E. S.) et KANDIBA (V. V.), *Izmeritelnaia Tekhnika*, 1956, n° 5, p. 52.
- [5] KANDIBA (V. V.), *Zavodskaiia Laborat.*, 1956, n° 6.

Institut de Métrologie D. I. Mendéléev (U. R. S. S.)

L'EMPLOI DE LA MÉTHODE PHOTOÉLECTRIQUE
POUR LES MESURES PRÉCISES
DANS LE DOMAINE
DE LA PYROMÉTRIE OPTIQUE (1)

Par L. A. BOJARSKI, A. N. GORDOV, G. L. IOSELSON,
V. V. KANDIBA, J. J. KIRENKOV, V. A. KOVALEVSKI,
G. A. KRACHMALNIKOVA, E. A. LAPINA et K. G. TARAJANZ

(Traduction)

Afin de pouvoir satisfaire les exigences de l'industrie moderne concernant la précision des mesures des hautes températures, il est nécessaire d'augmenter la précision des pyromètres optiques étalons. A la différence des autres domaines de la métrologie où la précision des appareils étalons dépasse généralement celle des appareils techniques; dans la pyrométrie optique la précision des appareils techniques et celle des appareils étalons sont du même ordre. Cela résulte de ce que la sensibilité des deux types d'appareils est déterminée par les propriétés de l'œil.

Mais c'est surtout pour la reproduction de l'échelle des températures de luminance et de couleur que l'augmentation de la précision est nécessaire. Dans le même but il faut augmenter considérablement la précision des déterminations de la longueur d'onde effective. Il en résulte que la réalisation d'un spectropyromètre assurant, par rapport aux appareils existants, une précision plus élevée dans la mesure de la luminance et de la longueur d'onde effective, est un problème d'actualité.

La propriété de l'œil de distinguer les différences de luminance étant limitée par le seuil de sensibilité au contraste, on ne peut réaliser une augmentation considérable de la précision qu'en

(1) *Trud. Inst. Metrol. D. I. Mendeleev*, n° 36 (96), 1958, p. 23.

abandonnant les méthodes de mesure visuelles au profit des méthodes objectives photoélectriques.

On sait que la mesure de la luminance, et par conséquent de la température de luminance, directement d'après le courant photoélectrique ne peut pas assurer une haute précision. Cela est dû à ce que la sensibilité des tubes photoélectriques n'est pas constante et à la présence des fluctuations du courant photoélectrique, surtout lors des mesures de faibles flux lumineux.

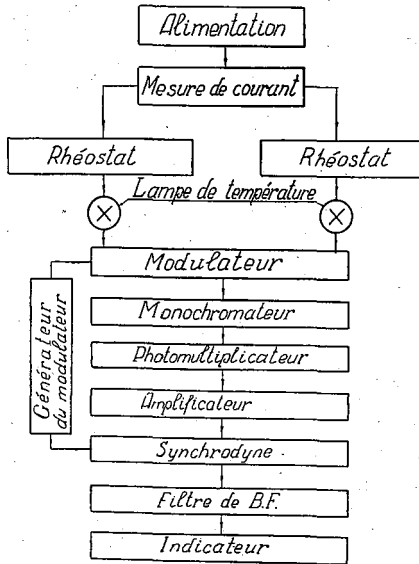


Fig. 1.

L'un des moyens possibles pour obtenir une précision élevée des mesures photoélectriques réside dans la réalisation de tubes photoélectriques spéciaux possédant des caractéristiques linéaires et de haute stabilité. On a procédé à des travaux avec de tels tubes, par exemple au Bureau International des Poids et Mesures.

Il existe cependant un autre moyen, évidemment plus efficace.

Le tube photoélectrique peut être employé avec succès comme appareil de zéro dans la comparaison de la luminance mesurée à celle de l'étalon; l'instabilité des caractéristiques du tube et celle de l'amplificateur n'ont plus alors d'importance. La possibilité d'une telle utilisation du tube photoélectrique représente la méthode dite de modulation. Sur cette méthode est fondé le fonctionnement des installations de pyrométrie objective spectrale CIIK-1 et CIIK-2, réalisées en 1954 et en 1957 à l'Institut des Mesures et Instruments de Mesure à Kharkov pour les étalon-

nages en températures de luminance et de couleur (lampes pyrométriques) [1].

Le principe de fonctionnement des installations est le suivant.

Le rayonnement des deux sources à comparer tombe alternativement, avec une fréquence donnée, sur le tube photoélectrique. L'alternance des flux lumineux est réalisée de telle sorte que pour des sources de luminances égales, le flux lumineux total reçu par le tube reste invariable dans le temps et le courant photoélectrique n'a pas de composante alternative.

Lorsque l'égalité des luminances est détruite, il existe une composante alternative du courant photoélectrique dont la fréquence est égale à celle de la modulation. Après amplification et détection, cette composante provoque une déviation du galvanomètre, ce qui indique l'inégalité des luminances. Le schéma synoptique (*fig. 1*) montre l'action réciproque des parties essentielles de l'installation.

Le rayonnement des deux lampes à ruban est modulé de telle sorte qu'à sa sortie du modulateur, le flux lumineux a une composante alternative dont l'amplitude est proportionnelle à la différence des luminances des lampes à comparer. Le monochromateur laisse passer, du flux lumineux modulé, un intervalle spectral suffisamment étroit pour une détermination de haute précision de la longueur d'onde effective.

Projeté sur la cathode du photomultiplicateur, le flux lumineux modulé crée un courant photoélectrique dont la valeur de la composante alternative est déterminée par la différence des luminances comparées. Cette composante est amplifiée par l'amplificateur à bande étroite qui assure ainsi une limitation préliminaire de la bande passante des fréquences; la composante passe ensuite par le détecteur synchronisé commandé par le même générateur qui met en action le modulateur. Le détecteur synchronisé, avec le filtre basses fréquences, assure une bande passante étroite, ce qui permet d'augmenter considérablement le rapport signal/bruit de fond.

Le signe de la tension à la sortie du détecteur synchronisé dépend de la phase de la composante alternative du courant photoélectrique; grâce à cela l'aiguille du galvanomètre dévie d'un côté ou de l'autre, selon le rapport des luminances des sources à comparer. L'expérimentateur observe le galvanomètre et règle le courant dans les lampes en cherchant à obtenir la position zéro de l'aiguille du galvanomètre, ce qui témoigne de l'égalité des luminances.

L'installation ЦИР-1, représentée à la figure 2, comporte trois pupitres inclinés; toutes les mesures peuvent être effectuées par une seule personne placée devant le pupitre central.

Sur le pupitre de gauche se trouvent deux rhéostats à cinq

sections destinés au réglage du courant des lampes pyrométriques. Une construction spéciale des rhéostats permet d'obtenir un réglage régulier et d'assurer la stabilité du courant avec une précision de 10^{-5} . Sur le pupitre de droite se trouve un poten-

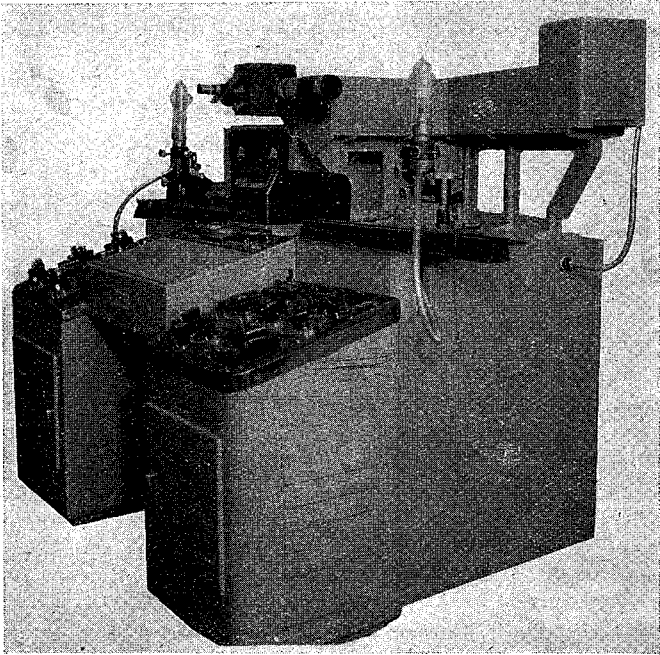


Fig. 2.

tiomètre à cinq décades pour la mesure de l'intensité du courant de chaque lampe; cette intensité est mesurée par la chute de tension aux bornes de résistances étalons de $0,005 \Omega$.

Sur le pupitre central sont placés les instruments et les boutons de commande des appareils électroniques. En haut de la table est situé le banc d'optique muni des mécanismes de déplacement des lampes pyrométriques. Les dispositifs de fixation des lampes assurent trois degrés de liberté pour la rotation et pour la translation de chaque lampe.

Au-dessus du centre du banc d'optique se trouve le système optique extérieur avec le modulateur. Deux objectifs (1) donnent une image des rubans des deux lampes (2) à comparer dans le plan de la fente d'entrée (3) du monochromateur (*fig. 3 a*). Une partie du flux lumineux réfléchi par les lèvres polies de la fente

tombe sur l'objectif du microscope (4), permettant ainsi d'observer la position des images des rubans des lampes sur la fente et de localiser la partie visée de chaque lampe.

Afin d'éliminer la non-identité probable des deux trajets du système optique extérieur, on a prévu la transposition de ce dernier

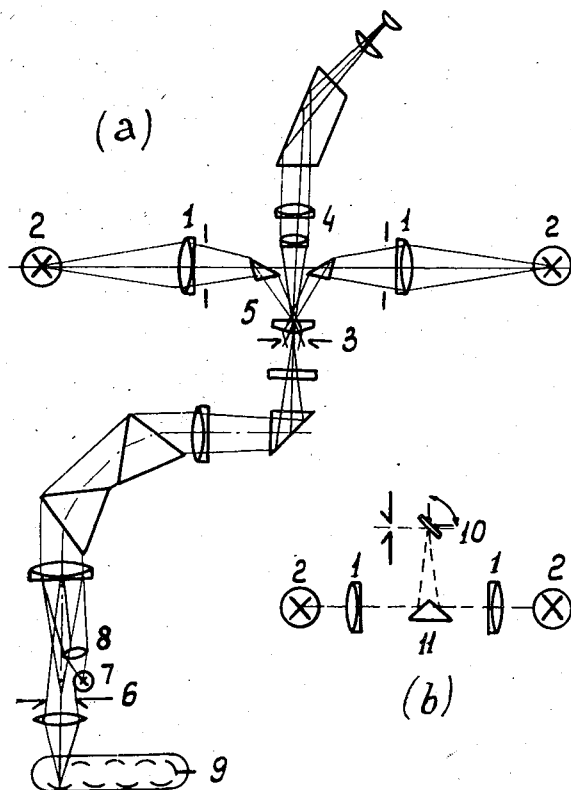


Fig. 3.

au cours des mesures par une rotation de 180° autour de l'axe horizontal passant par le centre de la fente d'entrée du monochromateur.

Devant la fente se trouve le modulateur dont la construction correspond aux exigences des mesures de haute précision. Le modulateur se présente sous la forme d'un petit prisme ($2,5 \times 2 \times 0,5$ mm) fixé sur une corde vibrante (5). Dans sa position moyenne le prisme envoie dans l'objectif collimateur du monochromateur la moitié de chaque flux lumineux à comparer. Lorsque le prisme se déplace, l'un des flux est augmenté et l'autre est diminué. Si les

luminances des sources ne sont pas égales, il se produit des variations périodiques du flux lumineux total; si les luminances sont égales, le flux total et sa position dans l'espace restent invariables.

La corde traverse le champ d'un aimant permanent et est mise en mouvement vibratoire grâce au courant alternatif qui la parcourt. L'amplitude des vibrations du prisme fixé sur la corde est de 0,3 mm, avec une fréquence de 860 Hz. La corde est connectée à un amplificateur à contre-réaction à deux étages et forme avec lui un générateur à corde autoexcité. Le générateur est muni d'un régulateur automatique de l'amplitude de vibration de la corde.

Cette installation est munie d'un monochromateur à deux prismes; la longueur totale de la base des prismes est 200 mm. La fente de sortie (6) du monochromateur a une largeur réglable et peut être déplacée le long du spectre dans les limites de 0,45 à 1,0 μ .

A côté de la fente de sortie est placée une lampe accessoire (7) qui envoie, à l'aide de la lentille (8), un faisceau lumineux de direction inverse à travers le monochromateur et le système optique extérieur; cette lampe est utilisée pour faciliter le réglage du système optique et la mise en place des lampes pyrométriques.

La fente de sortie et le photomultiplicateur (9), du type $\Phi\Xi Y-17$, $\Phi\Xi Y-22$ ou $\Phi\Xi Y-25$, se déplacent ensemble; selon la région choisie du spectre on peut employer l'un ou l'autre photomultiplicateur. Un redresseur alimente le photomultiplicateur en donnant une tension de 200 à 2 000 V automatiquement stabilisée.

Le courant photoélectrique est amplifié par un amplificateur à bandes étroites possédant une fréquence de résonance de 860 Hz, une bande passante de 100 Hz et un facteur d'amplification de 500. Cette largeur de la bande passante est choisie pour deux raisons : d'une part pour assurer l'affaiblissement des harmoniques supérieurs du courant photoélectrique qui empêcheraient le fonctionnement normal du synchrodyne, d'autre part pour conserver une sensibilité constante malgré les variations probables de la fréquence de modulation.

Le synchrodyne est monté selon le schéma en anneau. Afin d'assurer la stabilité maximum de la position du zéro, toutes les diodes sont fermées sur des piles sèches mises en série. A sa sortie du synchrodyne, le signal redressé passe dans un filtre RC à basse fréquence. Le changement des capacités du filtre permet de modifier la bande passante dans les limites de 1 à 0,01 Hz.

A la fin du montage électronique se trouve l'amplificateur à courant continu, dans le circuit anodique duquel est inséré le galvanomètre indicateur de l'égalité des luminances.

Afin de diminuer l'influence du circuit du modulateur sur les

circuits d'entrée de l'amplificateur, l'installation électronique est montée sur deux châssis séparés dont les sources d'alimentation sont indépendantes.

L'installation CИИК-2 est, dans l'ensemble, semblable à celle de CИИК-1 décrite ci-dessus. Les principales différences sont les suivantes : le modulateur (*fig. 3 b*) est d'une construction nouvelle, avec un petit miroir oscillant (10) pareil à celui de la boucle magnétique employée dans les oscillographes; ce miroir renvoie la lumière reçue des deux sources à comparer sur la fente du monochromateur, de sorte que le faisceau lumineux couvre la moitié de l'objectif du collimateur quand le miroir est immobile; lorsque le miroir oscille, les faisceaux lumineux se substituent alternativement l'un à l'autre.

L'inégalité des luminances des sources provoque la modulation du flux lumineux reçu par la photocathode. Grâce au prisme séparateur aluminé à arête fine (11), les parties de l'objectif éclairées par les différentes sources se trouvent tout près l'une de l'autre et, si les luminances des rubans des lampes sont égales, l'objectif se trouve alors uniformément éclairé pour n'importe quelle position du miroir.

Le nouveau modulateur possède des avantages sur le modulateur de l'installation CИИК-1. Il est plus fidèle dans son fonctionnement et n'exige ni ajustage, ni réglage; il assure une meilleure qualité des images des lampes pyrométriques dans le plan de la fente d'entrée du monochromateur ainsi qu'un grand champ du microscope de visée, ce qui conduit à une haute précision et à une bonne reproductibilité du montage des lampes dans une position donnée par rapport à l'axe optique.

Dans l'installation CИИК-2, la largeur de la fente d'entrée peut varier de 0 à 2 mm; la précision de lecture est 0,01 mm. Grâce à cela la graduation du monochromateur est considérablement simplifiée. De plus, une fente réglable permet de réduire l'intervalle spectral et, en cas de nécessité (par exemple pour le travail dans la région spectrale des grandes longueurs d'onde), d'augmenter la précision de la détermination de la longueur d'onde effective.

Les caractéristiques métrologiques essentielles de ces deux installations sont identiques. Les recherches effectuées ont montré que la sensibilité de l'installation est déterminée principalement par la valeur des fluctuations du courant photoélectrique. Le seuil de sensibilité peut être caractérisé par la valeur de l'écart moyen quadratique des lectures individuelles lors de l'égalisation des luminances. Cette valeur a été mesurée par une grande série de répétitions de l'égalisation des luminances de deux lampes. Le courant d'une des lampes était maintenu toujours invariable; le courant de l'autre lampe était réglé jusqu'à ce qu'on obtienne

l'équilibre photométrique, puis il était mesuré; l'intensité de ce courant était alors modifiée arbitrairement, puis de nouveau réglée et mesurée, cette opération étant répétée un certain nombre de fois. L'écart moyen quadratique obtenu pour cette série d'expériences, exprimé en degrés, caractérise la grandeur du seuil de sensibilité pour des valeurs données de la température et de la longueur d'onde.

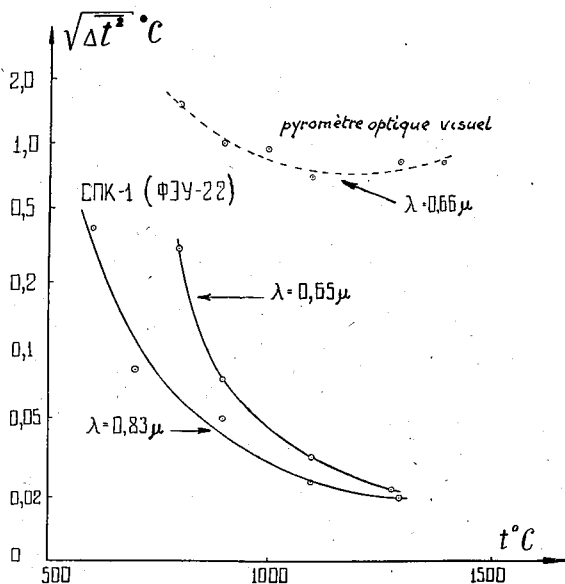


Fig. 4.

La grandeur de ce seuil est représentée sur la figure 4 en fonction de la température pour deux longueurs ($0,65 \mu$ et $0,83 \mu$). Sur cette même figure, la courbe en pointillé montre, à titre de comparaison, l'écart moyen des lectures au pyromètre optique visuel étalon pour $\lambda = 0,66 \mu$. On remarque que la sensibilité de l'installation photoélectrique dépasse considérablement celle du pyromètre visuel. De plus, la figure 4 montre que l'installation permet de réaliser les comparaisons à des températures de luminance sensiblement plus basses qu'avec le pyromètre optique.

L'utilisation du monochromateur à deux prismes à haute dispersion assure la détermination de la longueur d'onde effective avec une précision élevée. L'erreur de cette détermination ne dépasse pas 3 à 5 Å, tandis que pour les pyromètres visuels à verre coloré cette valeur est ordinairement de 10 à 15 Å.

L'installation СПК-1 a été employée à l'Institut de Métrologie

pour l'étalonnage des lampes pyrométriques destinées à la conservation de l'échelle des températures de couleur ainsi que pour l'étalonnage des pyromètres photoélectriques de couleur [2].

Dans ce but, un groupe de trois lampes pyrométriques était étalonné d'avance, à l'aide du pyromètre spectral visuel, dans l'intervalle des températures de luminance de 1300 à 1600° C et aux longueurs d'onde 0,48, 0,52, 0,55, 0,60, 0,65 et 0,69 μ . Un second groupe de lampes était étalonné aux mêmes longueurs d'onde dans l'intervalle des températures de luminance de 1600 à 2 200° C.

Ensuite, avec l'installation CИK-1, les lampes de chaque groupe ont été comparées deux à deux à des longueurs d'onde et à des températures de luminance voisines de celles de l'étalonnage des lampes.

Les deux lampes comparées en température de couleur ont été placées sur le banc d'optique de l'installation CИK-1. L'égalisation des luminances a été effectuée successivement à toutes les longueurs d'onde choisies; puis on faisait la permutation de l'optique extérieure et l'on répétait les mesures avec les mêmes longueurs d'onde. On échangeait ensuite les lampes de place, on faisait de nouveau la permutation du système optique et l'on répétait encore une fois toutes les mesures. Entre les mesures aux diverses longueurs d'onde on ne faisait aucun changement de la mise au point, du réglage, ni du nettoyage des surfaces optiques, afin que l'influence de la mise en place et de la disposition des lampes, les variations de la température intérieure, ainsi que l'affaiblissement de la lumière par les éléments optiques, gardent leur valeur et leur signe pour l'égalisation des luminances à toutes les longueurs d'onde choisies. Par cette méthode, on réduit au minimum les erreurs sur la température de couleur, dues à l'imprécision du réglage des lampes ainsi qu'à la non-identité du trajet des deux faisceaux de l'optique extérieure.

D'après les résultats des comparaisons en série fermée des lampes pyrométriques de chaque groupe, on a précisé les résultats de leur étalonnage. Ceci a permis de diminuer les notables erreurs accidentelles de l'étalonnage des lampes par le pyromètre spectral visuel.

A partir des résultats ainsi précisés de l'étalonnage, on calculait les températures de couleur T_c des lampes par la formule

$$(1) \quad T_c = \frac{\frac{I}{\lambda_1} - \frac{I}{\lambda_2}}{\frac{I}{S_1 \lambda_1} - \frac{I}{S_2 \lambda_2}},$$

tout en calculant pour chaque point d'étalonnage trois valeurs

de T_c (dont on prenait ensuite la moyenne) correspondant aux trois paires de longueurs d'onde 0,48 et 0,60 μ , 0,52 et 0,65 μ , 0,55 et 0,69 μ .

On a ainsi établi deux groupes de lampes pyrométriques étalons qui conservaient les échelles de température de couleur, l'un dans l'intervalle 1400–1800° C, l'autre dans l'intervalle 1800–2500° C.

D'après les deux groupes de lampes pyrométriques étalons et par des comparaisons effectuées avec l'installation CIIK-1, on étalonnait en température de couleur les lampes employées pour la vérification des pyromètres photoélectriques de couleur.

L'emploi de l'installation CIIK-1 permet d'obtenir une haute précision dans la comparaison des lampes en température de couleur. Avec l'installation CIIK-1, l'erreur de la comparaison des lampes pyrométriques aux températures de couleur T_c est liée à l'erreur de la comparaison aux températures de luminance S . En différentiant l'équation (1) on a

$$(2) \quad \Delta T_c = \frac{T_c^2}{S^2} \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \Delta S = k \Delta S.$$

En prenant pour λ_1 et λ_2 l'une des trois paires de valeurs indiquées plus haut, nous obtenons pour $T_c = 1700^\circ \text{K}$, $k = 4,4$ et pour $T_c = 2700^\circ \text{K}$, $k = 5,7$.

On peut citer les sources d'erreur suivantes lors de la comparaison de lampes en température de couleur sur l'installation CIIK-1.

a. Le seuil de sensibilité du montage électrique dépend du niveau des bruits de fond, principalement des fluctuations du courant photoélectrique, et est voisin de 0,05 à 0,1 degré. L'erreur correspondante de la comparaison en température de couleur ne dépasse pas 0,5 deg.

b. L'influence de la tension au photomultiplicateur sur l'équilibrage du montage électronique. Cette erreur ne dépasse pas 0,1 deg, ce qui correspond dans la comparaison en température de couleur à une erreur d'environ 0,5 deg.

c. Une élimination incomplète de la non-identité du trajet des deux faisceaux de l'optique extérieure de l'installation.

d. L'imprécision du pointage du système optique sur une partie choisie du ruban de la lampe, en raison des gradients de température sur le ruban.

e. L'instabilité de la luminance de la lampe pour une intensité constante du courant.

D'après ce qui précède, la méthode de comparaison choisie a réduit au minimum l'influence des trois dernières sources d'erreurs.

L'erreur totale de la comparaison de lampes à ruban en température de couleur a été déterminée à l'aide des résultats expérimentaux par deux moyens :

1° par la divergence des résultats de la comparaison après la permutation des lampes;

2° par l'erreur totale de la comparaison, représentant l'incohérence révélée après la comparaison de trois lampes deux à deux, à chaque température.

Calculé de cette manière, l'écart moyen quadratique de la comparaison en température de couleur de lampes à ruban sur l'installation ЦИР-1 est d'environ ± 1 deg dans l'intervalle de température 1400-1800° C, et ± 2 à 2,5 deg dans l'intervalle 1800-2500° C. Ces nombres montrent une augmentation considérable de la précision d'étalonnage par l'emploi de la méthode photoélectrique.

C'est à l'aide de l'installation ЦИР-1 qu'on a réalisé, par une méthode objective, la reproduction de l'échelle de température au-dessus de 1063° C d'après la loi de Planck. Conformément à la décision adoptée en 1948 sur l'Échelle Internationale de Température, la valeur de la température dans ce domaine doit être déterminée par l'équation

$$(3) \quad \frac{E_1}{E_2} = \frac{\frac{C_2}{e^{\lambda T_2}} - 1}{\frac{C_2}{e^{\lambda T_1}} - 1}.$$

La précision de la reproduction de l'échelle de température dépend de la précision avec laquelle on peut mesurer, par le dispositif utilisé, le rapport des luminances E_1/E_2 , ainsi que la longueur d'onde effective du rayonnement employé λ . En comparaison de la méthode visuelle, l'installation ЦИР-1 permet d'augmenter la précision de la mesure de ces deux grandeurs, grâce à la haute sensibilité de l'appareillage.

Pour la reproduction de l'échelle de température par une méthode visuelle, la mesure du rapport des luminances de deux sources est effectuée plus efficacement à l'aide de secteurs tournants. En ce qui concerne les mesures photoélectriques par modulation, cette méthode n'est pas acceptable car elle exige une grande inertie des récepteurs photoélectriques.

Nous avons adopté la méthode de double luminance pour la reproduction de l'échelle de température à l'aide des mesures photoélectriques (2). Devant une lampe pyrométrique auxiliaire montée sur le banc de l'installation photoélectrique, on place un

(2) Voir la licence de V. A. Kovalevski, n° 104.096, 1956.

appareil spécial dont les éléments principaux sont deux miroirs semi-transparents (*fig. 5*). L'un des miroirs divise le rayonnement de la lampe en deux faisceaux qui se réunissent de nouveau sur l'autre miroir. A l'aide de coins optiques et d'écrans on peut régler la luminance de chaque faisceau, substituer exactement un faisceau à l'autre ou bien laisser passer les deux simultanément par un des objectifs du système optique extérieur de l'installation CIIR-1.

La lampe à étalonner est montée de l'autre côté de l'installation photoélectrique. L'intensité du courant attribuée initialement à cette lampe correspond à la température de départ 1063°C. Le réglage du dispositif à miroirs et du courant dans la lampe

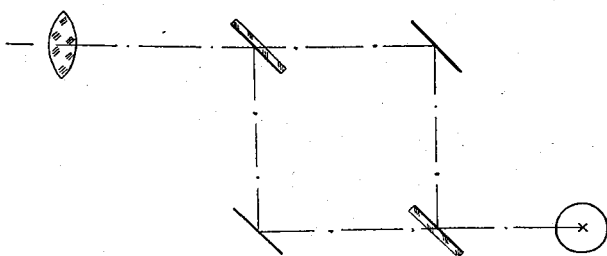


Fig. 5.

auxiliaire est réalisé de telle sorte que l'installation photoélectrique montre l'égalité des luminances des deux lampes quand on laisse passer séparément chaque faisceau de lumière de la lampe auxiliaire. Si on laisse passer les deux faisceaux de la lampe auxiliaire, la luminance de son image est alors doublée dans le plan de la fente d'entrée du monochromateur. En augmentant l'intensité du courant dans la lampe à étalonner on obtient de nouveau l'égalisation des luminances des images, après quoi la luminance de la lampe devient deux fois plus grande qu'au commencement. Pour une telle expérience, la précision de la duplication de la luminance de la lampe à étalonner est déterminée principalement par la sensibilité de l'installation photoélectrique.

La duplication par cette méthode de la luminance de la lampe à étalonner est répétée successivement jusqu'à ce qu'on obtienne la température limite à laquelle on veut étalonner la lampe.

La température du ruban de la lampe à étalonner, qui augmente à chaque duplication de sa luminance, est calculée d'après la formule (3).

Pour la reproduction de l'échelle de température à des températures supérieures à celle admise pour l'incandescence de la lampe à étalonner, on emploie des verres absorbants comme on

le fait avec les pyromètres optiques visuels. Afin d'assurer une haute stabilité des lampes, nous employons des verres absorbants à partir de 1600° C.

La comparaison, à l'aide de l'installation photoélectrique et à diverses températures, des luminances de plusieurs lampes étalonnées par la méthode indiquée, permet de déterminer l'erreur accidentelle totale de la reproduction et du transfert de l'échelle de température par la méthode photoélectrique.

Nous avons réussi à obtenir les valeurs suivantes de l'erreur accidentelle totale pour la reproduction de l'échelle de température en lumière rouge ($\lambda = 0,6562 \mu$).

Température.	Erreur accidentelle totale.
1 400°C	$\pm 0,2$ deg
1 600	$\pm 0,3$
2 000	$\pm 1,0$

Ces valeurs sont préliminaires, car elles résultent de la comparaison d'un nombre insuffisant de lampes. L'imprécision sur la valeur de la longueur d'onde effective ($\Delta\lambda = \pm 5 \text{ \AA}$) conduit pour les mêmes températures à des erreurs de $\pm 0,3$, $\pm 0,6$ et $\pm 1,2$ deg.

D'après nos estimations, l'écart moyen quadratique de la reproduction de l'Échelle Internationale de Température par les pyromètres visuels étalons est de ± 4 deg à 2 000° C [3].

En résumé, nos recherches ont montré que les erreurs de la reproduction de l'échelle de température par l'installation CИИК-1 sont dues aux phénomènes suivants :

1° Seuil de sensibilité de la partie photoélectrique de l'installation CИИК-1 (influence des bruits de fond);

2° Élimination incomplète de la non-identité du trajet des deux faisceaux du système optique extérieur (pour la comparaison des lampes);

3° Instabilité de la luminance du ruban de la lampe (influence de l'inclinaison, de la température intérieure);

4° Irrégularité de la température du ruban de la lampe dans la région visée;

5° Valeur imprécise de la longueur d'onde effective.

On a l'espoir que les erreurs indiquées ci-dessus pourront être diminuées grâce à un perfectionnement ultérieur des appareils et de la technique expérimentale. Toutefois, la précision déjà atteinte dans la reproduction de l'échelle de température est considérablement élevée, comparée à celle de l'ancienne méthode visuelle.

(Avril 1958)

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] KANDIBA (V. V.) et KOVALEVSKI (V. A.), *Dokl. Akad. Nauk, S.S.S.R.*, 108, n° 4, 1956, p. 633-635.
 - [2] GORDOV (A. N.), LAPINA (E. A.) et KIRENKOV (J. J.), *Trud. Inst. Metrol. D. I. Mendeleev*, n° 35 (95), 1958.
 - [3] GORDOV (A. N.), *Ibid.*, n° 9 (59), 1950.
-

ANNEXE T 2

Kamerlingh Onnes Laboratorium (Pays-Bas)

L'ÉCHELLE DE TEMPÉRATURE L 55 A TENSION DE VAPEUR DE L'HÉLIUM

(Traduction)

INTRODUCTION.

Lors de la Conférence de la Physique des Basses Températures, tenue à Paris du 2 au 8 septembre 1955, quelques problèmes relatifs à l'échelle de température fondée sur la tension de vapeur de l'hélium liquide ont été discutés au cours d'une séance spéciale; un rapport sur ces discussions a été rédigé par D. de Klerk. Cette séance avait été précédée par une réunion, à Leyde, de sept spécialistes travaillant à l'amélioration de l'échelle de 1948; ces sept spécialistes avaient présenté à la Conférence un nouveau projet d'échelle à tension de vapeur de l'hélium liquide. Ce projet et le rapport de D. de Klerk sont donnés ci-après (p. T 166 et T 168). Les recommandations contenues dans ce projet ont été approuvées au cours de la dernière séance de la Conférence de Paris, qui les a faites siennes. En conséquence, la table provisoire exprimant la relation p - T , présentée à la Conférence de Paris, a été établie sous une forme définitive de 0,001 en 0,001 degré et a été étendue aux températures inférieures et supérieures comme indiqué dans le projet.

Les valeurs de base pour $T < 4,2^\circ \text{K}$ ont été calculées de 0,050 en 0,050 degré; elles sont données au tableau B (p. T 175). Le « Mathematical Centrum » d'Amsterdam s'est chargé du calcul des valeurs intermédiaires de la table et de son extension aux températures supérieures à $4,2^\circ \text{K}$ pour tous les millièmes de degré. Nous sommes reconnaissants à A. Van Wijngaarden et A. J. W. Duijvestijn de ces calculs délicats.

La table fournit des valeurs p - T qui ne diffèrent que de quelques millièmes de degré des résultats expérimentaux. Les écarts trouvés au Kamerlingh Onnes Laboratorium sont pour la plupart

de signe contraire à ceux des résultats discutés par Clement aux États-Unis d'Amérique. L'écart dépend de la façon dont les mesures sont faites et interprétées. Dans le projet présenté à la Conférence de Paris, on indique quelques remarques qui permettent de réduire les erreurs d'étalonnage.

Un avantage de cette échelle fondée sur des calculs thermodynamiques est sa cohérence interne. Cette cohérence est due au fait que la relation p - T est en accord étroit avec les meilleurs résultats expérimentaux obtenus par différentes méthodes. Un rapport plus complet des travaux et des calculs effectués à Leyde pour améliorer l'échelle de 1948 sera publié par ailleurs. Ces travaux ont été faits en collaboration avec B. Knook, M^{lle} O. P. Van Wier, F. J. du Chatenier et H. ter Harmsel.

H. Van DIJK,
M. DURIEUX.

PROJET D'UNE NOUVELLE ÉCHELLE A TENSION DE VAPEUR DE L'HÉLIUM LIQUIDE

1. Une relation p - T a été calculée par Van Dijk et Durieux, pour les températures comprises entre 0,9 et 4,25° K, à partir de considérations purement thermodynamiques. Nous l'estimons exacte à $2 \cdot 10^{-3}$ degré près environ.

2. Cette relation peut être étendue très facilement :

a. aux températures inférieures, en prenant les trois premiers termes du développement;

b. aux températures supérieures, en s'appuyant sur les résultats de Berman et Swenson obtenus au moyen du thermomètre à gaz. Ces résultats peuvent être utilisés dans une formule similaire à celle de Berman et Swenson, bien raccordée à l'échelle calculée.

3. Nous proposons à la Conférence cette relation p - T comme une amélioration importante de l'échelle de 1948; les températures dans cette échelle pourraient être désignées par T_{55} . Pour rendre la table d'un emploi commode, elle pourrait être établie pour des intervalles de 0,005 ou 0,001 degré.

4. De petits écarts systématiques entre les résultats expérimentaux et la relation p - T calculée existent aussi bien au Laboratoire de Leyde qu'à ceux des États-Unis; ces écarts ne dépassent toutefois pas quelques millièmes de degré et ils dépendent de la façon dont les mesures sont effectuées et interprétées.

5. Pour réduire les erreurs d'étalonnage, il y a lieu d'éviter :

- a. les points froids;
- b. un apport de chaleur par le haut du réservoir à tension de vapeur;
- c. les oscillations;
- d. les gradients de température dans le réservoir.

6. a. Selon la technique en usage à Leyde avec un appareil en verre, un réservoir à tension de vapeur, prolongé par une enveloppe tubulaire à double paroi contenant un petit peu d'hélium à une température légèrement supérieure à celle du réservoir, donne des résultats reproductibles en très bon accord avec la relation thermodynamique calculée.

b. D'après l'expérience d'un certain nombre de laboratoires aux États-Unis, un réservoir à tension de vapeur doit être employé, en particulier au-dessus du point λ .

Dans le cas d'un appareil métallique, le réservoir à tension de vapeur doit être prolongé par une enveloppe sous vide, alors qu'une enveloppe sous vide ne convient pas pour un appareil en verre.

Les résultats ainsi obtenus, bien qu'ils diffèrent l'un de l'autre, peuvent être convenablement représentés par une courbe des écarts par rapport à l'équation de Clement (ou par rapport à la table thermodynamique de Van Dijk et Durieux). Tant qu'on ne disposera pas de connaissances plus détaillées sur le mode opératoire pour la mesure exacte des tensions de vapeur, cette courbe des écarts peut être utilisée pour déterminer les températures à partir des tensions de vapeur selon les méthodes indiquées ci-dessus; il est probable qu'en agissant de cette façon, au lieu de se référer simplement à la table de Van Dijk et Durieux, on obtient des températures plus voisines des températures thermodynamiques.

E. AMBLER,
J. R. CLEMENT,
H. Van DIJK,
M. DURIEUX,
R. P. HUDSON,
W. E. KELLER,
D. de KLERK.

DÉTERMINATION DE LA TEMPÉRATURE ABSOLUE
DANS LE DOMAINE DE L'HÉLIUM LIQUIDE

(Rapport de la séance spéciale tenue en liaison avec la Conférence
de la Physique des Basses Températures, Paris, septembre 1955)

Au cours des dernières années, des doutes sont apparus sur la précision de la « table 1948 » des tensions de vapeur de l'hélium liquide, table qui est utilisée par la plupart des laboratoires des basses températures pour déterminer les températures à partir des tensions de vapeur mesurées. Plusieurs expérimentateurs utilisant des techniques différentes sont arrivés à la conclusion que des écarts systématiques, pouvant atteindre 0,015 degré, doivent exister entre les températures calculées d'après la table et les températures vraies.

Pour cette raison, une séance spéciale s'est tenue sous la présidence de F. G. Brickwedde, dans le but d'établir une nouvelle échelle plus proche de l'échelle absolue. Cette séance a été précédée d'une réunion, à Leyde, entre J. R. Clement (Naval Research Laboratory), H. Van Dijk, M. Durieux et D. de Klerk (Kamerlingh Onnes Laboratorium), R. P. Hudson et E. Ambler (National Bureau of Standards) et W. E. Keller (Los Alamos Laboratory).

Les résultats des différentes recherches ont conduit à deux échelles : une formule thermodynamique établie par H. Van Dijk et une échelle empirique établie par J. R. Clement.

H. Van Dijk fit remarquer qu'une formule thermodynamique est la meilleure base de départ pour parvenir à la relation vraie entre la tension de vapeur et la température absolue. Les résultats obtenus de cette façon sont indépendants des erreurs systématiques dues aux imperfections du dispositif de mesure de la tension de vapeur. Il a examiné chaque terme de l'équation donnant la tension de vapeur, et justifié le choix des valeurs attribuées aux différentes grandeurs thermodynamiques qui apparaissent dans ces termes. Les températures finalement obtenues à partir de la formule sont probablement exactes à mieux que 0,001 degré à 1° K, et 0,002 degré au point d'ébullition, l'écart maximum étant 0,003 degré à 2,8° K.

J. R. Clement a indiqué que son échelle de température actuelle n'est pas la formule qu'il a publiée il y a quelque temps. Cette formule avait été établie dans le but d'obtenir une relation lissée p - T , qui constituerait en même temps une représentation satisfaisante des résultats expérimentaux. On a toutefois reconnu, il y a un mois environ, que des écarts systématiques existent entre cette formule et divers résultats de mesure, à savoir : les déterminations d'isothermes de Keller, les mesures au thermomètre à gaz de Berman et Swenson et de Schmidt et Keesom, les recherches magnétiques de Hudson et Ambler (qui dépendaient de deux constantes), et les études faites avec des thermomètres à carbone par Corak, Garfunkel, Satterthwaite et Wexler (dont la cohérence ne peut être contrôlée qu'avec une échelle). Dans toutes ces mesures, la tension de vapeur avait été mesurée avec un réservoir à tension de vapeur et tous les résultats présentaient à peu près les mêmes écarts par rapport à la formule initiale de Clement (et aussi, par conséquent, par rapport à la formule thermodynamique de Van Dijk),

ce qui justifie la conclusion que les mêmes écarts se produiront dans des conditions expérimentales semblables.

D. de Klerk fit ensuite un compte rendu de la réunion préliminaire de Leyde.

Les échelles de Van Dijk et Clement ont chacune leurs mérites. L'échelle de Van Dijk fournit la relation la plus sûre entre p et T qui puisse être calculée actuellement, bien que quelque doute puisse exister sur les valeurs exactes de certaines grandeurs thermodynamiques.

Les écarts entre les échelles de Van Dijk et de Clement peuvent être dus aux erreurs systématiques dans les déterminations de pression des différents auteurs, donc à des imperfections des appareils. S'il en est ainsi, l'origine de ces erreurs est plutôt obscure, mais il apparaît qu'elles peuvent être très voisines pour des appareils différents.

Pour cette raison, le projet suivant a été soumis aux Membres de la Conférence.

L'échelle de Van Dijk serait acceptée comme échelle de température absolue, ou tout au moins comme la meilleure approximation possible actuellement; les valeurs des températures dans cette échelle seraient désignées par le symbole T_{25} . Une table de cette échelle, établie de 0,01 en 0,01 degré, a été remise aux Membres de la Conférence. Il est prévu, cependant, d'établir prochainement une nouvelle table à intervalles plus rapprochés, pouvant être utilisée commodément à la fois pour la détermination de p en fonction de T et *vice versa*. La table actuelle couvre la région comprise entre 0,9 et 4,2° K, mais elle peut être étendue sans difficultés à ses deux extrémités : aux températures plus basses, en utilisant les trois premiers termes du développement thermodynamique; aux températures plus élevées, au moyen des résultats de Berman et Swenson, un bon raccordement étant possible à 4,2° K entre les résultats de ces auteurs et la formule de Van Dijk.

Une courbe d'écarts donnant les différences entre les échelles de Clement et de Van Dijk sera publiée à peu près en même temps que la table définitive; cette courbe serait désignée sous le nom de « correction de Clement ». Jusqu'au point d'ébullition, les écarts ne dépassent nulle part 0,003 degré. Cette courbe d'écarts peut être employée pour déterminer les températures à partir des tensions de vapeur mesurées; ces valeurs de température peuvent être considérées, sous certaines conditions expérimentales, comme étant plus voisines des températures absolues que les valeurs obtenues avec la seule échelle de Van Dijk.

Certaines difficultés existent encore dans l'interprétation de la mesure des tensions de vapeur; les points essentiels des conditions expérimentales n'apparaissent pas encore clairement. Alors que plusieurs des déterminations examinées par Clement sont en bon accord, les déterminations magnétiques de Van Dijk et Durieux, effectuées avec un dispositif expérimental légèrement différent, donnent des écarts qui ne correspondent pas à la « correction de Clement »; entre 1,9 et 4,2° K, ces écarts sont même de signe contraire. En outre, des mesures à la partie supérieure du cryostat, compte tenu de la correction de pression hydrostatique habituelle, donnent de nouveau des résultats en désaccord avec la « correction de Clement ».

A première vue, un projet contenant à la fois une échelle et une courbe de correction ne semble pas très satisfaisant. Nous croyons cependant que c'est la meilleure solution actuellement. L'échelle de Van Dijk repré-

sente les propriétés thermodynamiques de l'hélium liquide et la « correction de Clement » tient compte des imperfections expérimentales possibles de certains appareils. Il semble important que l'échelle et la courbe de correction soient, l'une et l'autre, l'objet de nouvelles recherches.

A la fin de la séance, le Dr Dolecek du Naval Research Laboratory, appuyé par le Prof. Gorter de Leyde, a présenté une motion demandant que la Conférence approuve et adopte la recommandation contenue dans le compte rendu de la réunion de Leyde.

.....
Le Prof. de Boer, d'Amsterdam, a suggéré que l'adoption officielle d'une échelle internationale de température soit laissée au Comité Consultatif de Thermométrie auprès du Comité International des Poids et Mesures, et que la présente Conférence des Basses Températures recommande seulement à ses Membres l'emploi d'une échelle.

A la dernière séance de la Conférence, la motion du Dr Dolecek a été acceptée.

D. de KLERK,
Secrétaire de la séance.

LA TENSION DE VAPEUR DE ⁴He

Jusqu'à 4,167° K, la relation température-tension de vapeur de ⁴He a été calculée au moyen de l'équation thermodynamique

$$\ln p = i_0 - \frac{L_0}{RT} + \frac{5}{2} \ln T - \frac{1}{RT} \int_0^T S_L dT + \frac{1}{RT} \int_0^p V_L dp + \varepsilon,$$

en utilisant les valeurs suivantes

$$i_0 = 12,244 \text{ o (unités C. G. S.),} \quad L_0 = 59,50 \text{ joules/mole,} \\ R = 8,316 \text{ 62 joules/mole. degré.}$$

La tension, en mm Hg, a été réduite à 0° C et à la gravité normale avec

$$\rho_{Hg} = 13,595 \text{ 1 g/cm}^3 \quad \text{et} \quad g = 980,665 \text{ cm/s}^2.$$

$\int_0^T S_L dT$ a été obtenu par intégration graphique à partir des meilleures valeurs de Leyde pour C_L , réduites avec soin pour cette nouvelle échelle. Pour les températures comprises entre 2,5 et 4,167° K, les valeurs de C_L ont été corrigées au moyen des valeurs de la chaleur de vaporisation obtenues par Dana et Kamerlingh Onnes (1) et par Berman et Poulter (2).

(1) *Commun. Kamerlingh Onnes Lab.*, n° 179 c, 1926.

(2) *Phil. Mag.*, VII, 93, 1952, p. 1047.

Pour calculer $\int_0^p V_L dp$, les résultats de Kamerlingh Onnes et Boks (3) ont été utilisés.

$$\varepsilon = \ln \left(1 + \frac{B}{V_G} \right) - \frac{2B}{V_G}$$

a été calculé avec les valeurs de B des tables de Kilpatrick, Keller et Hammel (4).

Pour les températures supérieures à 4,167° K, la tension p , exprimée en mm Hg à 0° C et sous la gravité normale, a été calculée par la formule

$$\log_{10} p = 1,977\ 254 - \frac{2,777\ 08}{T} + 2,5 \log_{10} T.$$

Cette formule est très voisine de celle de Berman et Swenson (5); elle exprime correctement les résultats expérimentaux de ces auteurs et se raccorde bien aux résultats pour $T < 4,167^\circ \text{K}$. Dans l'échelle définie de cette façon, la température du point d'ébullition est 4,2160° K; cette valeur est celle de Schmidt et Keesom (6) qui a été confirmée, à la précision expérimentale près, par d'autres mesures effectuées dans des conditions différentes. Selon nos mesures les plus précises, la tension de vapeur au point λ est 37,67 mm Hg à 0° C, ce qui correspond à 2,1684° K dans l'échelle définie par cette table. Au point critique, $p = 1718$ mm Hg à 0° C (7) et $T = 5,206^\circ \text{K}$.

Nous avons ajouté à la table p - T , une table donnant le rapport de la masse volumique du mercure entre 10 et 40° C à sa masse volumique à 0° C.

Éléments de base pour le calcul de la relation p - T .

La relation p - T peut se déduire de l'équation de Gibbs reliant les énergies libres des phases liquide et vapeur en présence

$$G_L = U_{0L} - \int_0^T S_L dT + \int_0^p V_L dp,$$

$$G_G = U_{0G} - RT \left(\ln \frac{T^{\frac{5}{2}}}{p} + i_0' + \varepsilon \right).$$

$\varepsilon = 0$ pour un gaz parfait; pour l'hélium, jusqu'à son point

(3) *Commun. Kamerlingh Onnes Lab.*, n° 170 b, 1924.

(4) *Phys. Rev.*, 97, 1955, p. 9.

(5) *Phys. Rev.*, 93, 1954, p. 311.

(6) *Commun. Kamerlingh Onnes Lab.*, n° 250 b.

(7) KAMERLINGH ONNES et WEBER, *Commun. Kamerlingh Onnes Lab.*, n° 147 b, 1915.

d'ébullition, on a approximativement

$$p V_G = RT \left(1 + \frac{B}{V_G} \right) \quad \text{et} \quad \varepsilon = \ln \left(1 + \frac{B}{V_G} \right) - \frac{2B}{V_G}.$$

Puisque $G_L = G_G$ et $U_{0G} - U_{0L} = L_0$,

$$L_0 = RT \left(\ln \frac{T^{\frac{5}{2}}}{p} + i_0 + \varepsilon \right) - \int_0^T S_L dT + \int_0^p V_L dp,$$

$$(1) \quad \ln p = i_0 - \frac{L_0}{RT} + \frac{5}{2} \ln T + \varepsilon - \frac{1}{RT} \left[\int_0^T S_L dT - \int_0^p V_L dp \right];$$

$$(2) \quad L = T(S_G - S_L) = -T \left(\frac{\partial G_G}{\partial T} \right)_p - TS_L \\ = RT \left[\ln \frac{T^{\frac{5}{2}}}{p} + i_0 + \varepsilon + \frac{5}{2} + T \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial T} \right)_p \right] - TS_L,$$

$$L = L_0 + \frac{5}{2} RT + RT^2 \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial T} \right)_p - \int_0^T C_L dT - \int_0^p V_L dp,$$

$$\text{où } T \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial T} \right)_p = \frac{B}{V_G} - \frac{T}{V_G} \frac{dB}{dT};$$

$$(3) \quad C_L = \frac{5}{2} R + \frac{d}{dT} \left[RT^2 \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial T} \right)_p - \int_0^p V_L dp - L_{\text{exp}} \right].$$

Quelques valeurs numériques pour la relation p - T ont été données dans les paragraphes qui précèdent.

Les valeurs de base utilisées pour calculer L_0 , ε , les intégrales, p , L et C_L sont données dans les tableaux B et C. Pour calculer

$\int_0^T S_L dT$, nous avons choisi parmi les valeurs expérimentales

disponibles de la chaleur spécifique C_L , celles que nous considérons comme les plus précises. Pour les températures supérieures à 2,4° K, les valeurs expérimentales sont moins précises, mais des valeurs expérimentales de L suffisamment exactes existent et ont permis de faire un choix convenable pour les capacités calorifiques entre 2,5° K et 4,2° K en utilisant une formule équiva-

lente à l'équation (3). On a calculé $\int_0^p V_L dp$ avec les équations

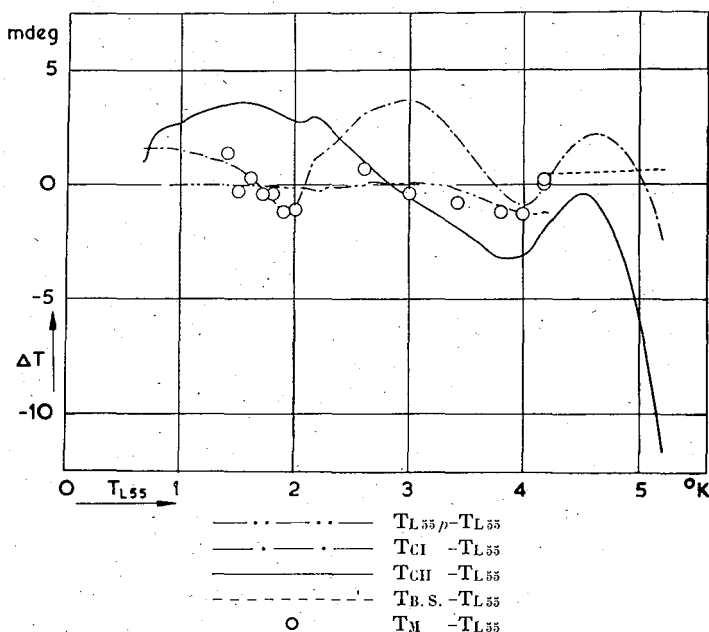
$$V_L (\text{cm}^3) = 27,66 - 0,004734p \quad \text{pour } p \leq 38 \text{ mm Hg},$$

$$V_L (\text{cm}^3) = 27,24 + 0,0063375p \quad \text{pour } p > 38 \text{ mm Hg}.$$

Ces deux équations sont en très bon accord avec les résultats expérimentaux de Kamerlingh Onnes et Boks. Les valeurs de L calculées (L_{calc}) et mesurées (L_{exp}) concordent à la précision des

mesures près, et montrent le degré d'exactitude de la relation p - T calculée. Le tableau C donne les valeurs L_{calc} calculées avec l'équation (2).

Les unités utilisées dans les tableaux B et C sont : joule/mole. $^{\circ}$ K; joule/mole; cm^3 /mole; p en mm Hg à 0° C, $g = 980,665 \text{ cm} \cdot s^{-2}$.



Cette figure donne :

- 1 $^{\circ}$ Les écarts entre l'échelle définitive (L-55) de Van Dijk et Durieux et leur échelle provisoire (L 55p) de septembre 1955.
- 2 $^{\circ}$ Les écarts entre l'échelle définitive L 55 et les échelles de Clement de mai 1955 (C_I) et de décembre 1955 (C_{II}).
- 3 $^{\circ}$ Les écarts entre l'échelle définie par la formule de Berman et Swenson (B. S.) et l'échelle L 55.
- 4 $^{\circ}$ Les différences M — L 55 qui représentent les écarts entre les résultats expérimentaux les plus exacts obtenus par E. Ambler et R. P. Hudson au N. B. S. (17 août 1955) et l'échelle L 55.

(9 mars 1956)

TABLEAU A. — L'échelle L 55 pour la tension de vapeur de ⁴He.
(Unité : mm Hg à 0° C, $g = 980,665 \text{ cm. s}^{-2}$).

(°K)	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.9	0.04224	0.04738	0.05304	0.05924	0.06604	0.07346	0.08157	0.09039	0.09999	0.11041
1.0	0.12170	0.13393	0.14714	0.16140	0.17676	0.19330	0.21108	0.23016	0.25062	0.27253
1.1	0.29597	0.32101	0.34774	0.37623	0.40657	0.43885	0.47316	0.50958	0.54822	0.58917
1.2	0.63253	0.67840	0.72688	0.77808	0.83211	0.88907	0.94909	1.01226	1.07872	1.14858
1.3	1.22196	1.29899	1.37979	1.46448	1.55321	1.64609	1.74326	1.84487	1.95103	2.06190
1.4	2.17762	2.29833	2.42416	2.55528	2.69183	2.83395	2.98180	3.13553	3.29529	3.46124
1.5	3.63354	3.81234	3.99780	4.19008	4.38934	4.59575	4.80946	5.03064	5.25946	5.49607
1.6	5.74065	5.99336	6.25438	6.52385	6.80196	7.08887	7.38474	7.68975	8.00406	8.32783
1.7	8.66124	9.00445	9.35762	9.72093	10.0945	10.4786	10.8733	11.2788	11.6952	12.1227
1.8	12.5614	13.0116	13.4733	13.9467	14.4320	14.9293	15.4388	15.9606	16.4948	17.0415
1.9	17.6010	18.1734	18.7587	19.3570	19.9685	20.5933	21.2316	21.8833	22.5485	23.2274
2.0	23.9199	24.6264	25.3467	26.0809	26.8289	27.5909	28.3670	29.1571	29.9610	30.7789
2.1	31.6106	32.4565	33.3161	34.1894	35.0762	35.9764	36.8896	37.8152	38.7536	39.7069
2.2	40.6754	41.6597	42.6597	43.6757	44.7078	45.7564	46.8217	47.9038	49.0030	50.1193
2.3	51.2531	52.4041	53.5728	54.7591	55.9634	57.1858	58.4264	59.6854	60.9628	62.2590
2.4	63.5739	64.9077	66.2607	67.6328	69.0244	70.4354	71.8661	73.3166	74.7871	76.2776
2.5	77.7884	79.3196	80.8713	82.4436	84.0368	85.6509	87.2861	88.9425	90.6203	92.3197
2.6	94.0407	95.7837	97.5486	99.3356	101.145	102.977	104.831	106.707	108.607	110.529
2.7	112.474	114.443	116.435	118.450	120.489	122.552	124.639	126.749	128.884	131.043
2.8	133.227	135.435	137.668	139.926	142.208	144.516	146.849	149.208	151.592	154.001
2.9	156.437	158.899	161.386	163.900	166.440	169.007	171.600	174.220	176.867	179.541
3.0	182.242	184.971	187.727	190.511	193.322	196.162	199.029	201.925	204.849	207.801
3.1	210.782	213.792	216.830	219.898	222.994	226.120	229.275	232.460	235.674	238.918
3.2	242.192	245.496	248.830	252.195	255.590	259.016	262.473	265.960	269.479	273.029
3.3	276.610	280.222	283.866	287.542	291.249	294.989	298.761	302.565	306.402	310.272
3.4	314.174	318.109	322.077	326.078	330.113	334.181	338.283	342.418	346.588	350.792
3.5	355.030	359.303	363.610	367.952	372.329	376.741	381.188	385.671	390.189	394.744
3.6	399.334	403.960	408.623	413.323	418.059	422.832	427.642	432.490	437.375	442.297
3.7	447.258	452.257	457.293	462.368	467.482	472.635	477.827	483.058	488.328	493.638
3.8	498.988	504.378	509.808	515.279	520.790	526.342	531.935	537.570	543.246	548.963
3.9	554.723	560.524	566.368	572.254	578.183	584.156	590.172	596.233	602.337	608.486
4.0	614.680	620.919	627.203	633.533	639.909	646.332	652.801	659.317	665.881	672.492
4.1	679.152	685.860	692.617	699.424	706.281	713.188	720.146	727.156	734.212	741.313
4.2	748.459	755.649	762.886	770.167	777.494	784.867	792.285	799.749	807.259	814.816
4.3	822.418	830.067	837.762	845.504	853.293	861.129	869.011	876.941	884.918	892.942
4.4	901.013	909.132	917.299	925.514	933.777	942.087	950.446	958.853	967.309	975.813
4.5	984.366	992.967	1001.62	1010.32	1019.07	1027.86	1036.71	1045.61	1054.55	1063.55
4.6	1072.60	1081.69	1090.84	1100.03	1109.28	1118.57	1127.92	1137.32	1146.77	1156.27
4.7	1165.82	1175.42	1185.07	1194.78	1204.53	1214.34	1224.20	1234.11	1244.07	1254.08
4.8	1264.15	1274.27	1284.44	1294.66	1304.94	1315.27	1325.65	1336.09	1346.57	1357.11
4.9	1367.71	1378.36	1389.06	1399.81	1410.62	1421.48	1432.40	1443.37	1454.39	1465.47
5.0	1476.60	1487.79	1499.03	1510.33	1521.68	1533.08	1544.54	1556.06	1567.63	1579.26
5.1	1590.94	1602.68	1614.47	1626.32	1638.23	1650.19	1662.21	1674.28	1686.41	1698.59
5.2	1710.84	1723.14	1735.49							

Rapports des masses volumiques du mercure $\frac{\rho(t^{\circ}\text{C})}{\rho(0^{\circ}\text{C})}$

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,998 18	998 00	997 82	997 64	997 46	997 28	997 10	996 92	996 74	996 56
20	0,996 37	996 19	996 01	995 83	995 65	995 47	995 29	995 11	994 93	994 75
30	0,994 57	994 39	994 21	994 03	993 85	993 67	993 49	993 31	993 13	992 95

TABLEAU B. — *Éléments de base pour le calcul de la relation p-T.*

T °K	$10^3 C_L$	$10^3 S_L$	$10^3 \int_0^T C_L dT$	$10^3 \int_0^T S_L dT$	$-B$	V_G	ϵ	$-RT^2 \left(\frac{\partial \epsilon}{\partial T} \right)_p$	$\int_0^T V_L dp$
0.10	0.09	0.03	0.002	0.001					
0.20	0.75	0.25	0.038	0.013					
0.30	2.54	0.85	0.191	0.064					
0.40	6.02	2.01	0.603	0.201	1711.4				
0.50	11.76	3.92	1.47	0.490	1206.9	1.86×10^9	0.000001		
0.60	20.42	6.79	3.05	1.017	914.1	1.31×10^8	0.000007		0.000001
0.70	39.2	11.1	5.86	1.92	727.7	1.87×10^7	0.000039		0.000009
0.80	88.9	19.1	11.9	3.51	600.9	4.29×10^6	0.000141		0.000043
0.90	204.2	35.4	25.7	6.47	510.1	1328000	0.000384		0.000156
0.95	297.5	48.9	38.2	8.56	473.8	805800	0.000587		0.000271
1.00	417.2	67.1	56.0	11.44	442.4	512000	0.000863	0.0168	0.000449
1.05	568.6	90.9	80.5	15.36	414.6	338400	0.001224	0.024	0.000713
1.10	764.7	121.7	113.6	20.65	390.2	231400	0.001684	0.0354	0.001091
1.15	1001	161.0	157	27.68	368.4	163100	0.002255	0.049	0.001619
1.20	1293	209.4	214	36.90	348.9	118000	0.002953	0.0670	0.002334
1.25	1660	269.2	288	48.81	331.3	87368	0.003782	0.089	0.003280
1.30	2098	342.6	381	64.05	315.3	66045	0.004762	0.1164	0.004506
1.35	2590	430.9	498	83.32	300.8	50853	0.005900	0.148	0.006070
1.40	3171	545.3	656	107.40	287.62	39814	0.007198	0.1876	0.008030
1.45	3892	658.5	818	137.15	275.48	31638	0.008670	0.233	0.010449
1.50	4644	802.8	1031	173.60	264.33	25483	0.010318	0.2872	0.013395
1.55	5509	968.7	1284	217.79	253.98	20779	0.012146	0.349	0.016941
1.60	6486	1158.9	1583	270.87	244.48	17136	0.014160	0.4182	0.021159
1.65	7571	1374.9	1934	334.10	235.60	14278	0.016360	0.498	0.026129
1.70	8801	1618.9	2343	408.81	227.32	12010	0.018746	0.5876	0.031923
1.75	10182	1893.4	2817	496.48	219.61	10191	0.021314	0.703	0.038609
1.80	11699	2201.4	3364	598.71	212.39	8718.4	0.024060	0.7974	0.046276
1.85	13365	2544.0	3989	717.19	205.61	7516.6	0.026973	0.919	0.054997
1.90	15343	2925.8	4705	853.75	199.23	6525.9	0.030052	1.0529	0.064830
1.95	18041	3357.4	5536	1010.6	193.21	5704.6	0.033283	1.196	0.075836
2.00	21040	3850.2	6510	1190.5	187.53	5018.7	0.036650	1.3533	0.088066
2.05	24970	4415.3	7655	1396.8	182.17	4442.6	0.040141	1.521	0.101555
2.10	29890	5073.6	9021	1633.6	177.08	3956.8	0.043720	1.7011	0.116308
2.15	40000	5868.7	10711	1906.3	172.25	3545.0	0.047369	1.8903	0.132326
2.16	45430	6065.4	11135	1965.9	171.30	3470.5	0.048099	1.9265	0.135676
2.17	40600	6303.3	11651	2027.7	170.38	3398.4	0.048836	1.9650	0.139072
2.18	20040	6422.1	11909	2091.4	169.46	3328.4	0.049572	2.0037	0.142523
2.19	17020	6506.1	12092	2156.0	168.58	3260.4	0.050319	2.0427	0.146027
2.20	15210	6579.1	12253	2221.5	167.66	3194.7	0.051053	2.0879	0.149582
2.25	11990	6871.0	12902	2558.1	163.30	2892.7	0.054795	2.2964	0.168209
2.30	10690	7113.1	13452	2907.8	159.14	2629.2	0.058618	2.5182	0.188354
2.35	9790	7331.0	13959	3269.0	155.17	2397.15	0.062540		0.210154
2.40	9440	7533.1	14439	3640.6	151.38	2191.72	0.066560	3.0003	0.233705
2.45	9240	7725.3	14905	4022.1	147.75	2010.04	0.070664		0.258992
2.50	9170	7911.2	15365	4413.1	144.28	1848.18	0.074851	3.5356	0.286138
2.55	9130	8092.2	15822	4813.2	140.95	1703.34	0.079123		0.315244
2.60	9130	8269.3	16278	5222.2	137.76	1573.59	0.083480	4.1296	0.346344
2.65	9210	8443.8	16736	5640.1	134.69	1457.20	0.087886		0.379443
2.70	9330	8617.0	17199	6066.6	131.75	1351.82	0.092378	4.7762	0.414779
2.75	9460	8789.3	17669	6501.8	128.92	1256.32	0.096961		0.452406
2.80	9610	8961.0	18145	6945.6	126.20	1169.68	0.101616	5.4947	0.492350

TABLEAU B (suite).

T °K	$10^3 C_L$	$10^3 S_L$	$10^3 \int_0^T C_L dT$	$10^3 \int_0^T S_L dT$	$-B$	V_G	ε	$-RT^2 \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial T} \right)_p$	$\int_0^T V_L dp$
2.85	9810	9132.9	18631	7397.9	123.57	1091.02	0.106316		0.534639
2.90	10020	9305.5	19127	7858.9	121.04	1019.16	0.111098	6.2752	0.579463
2.95	10230	9478.7	19634	8328.5	118.60	953.52	0.115938		0.626829
3.00	10440	9652.5	20151	8806.8	116.24	893.34	0.120839	7.1341	0.676877
3.05	10650	9826.9	20678	9293.7	113.96	838.11	0.125794		0.729636
3.10	10860	10002	21216	9789.5	111.76	787.20	0.130825	8.0564	0.785302
3.15	11070	10177	21765	10293.9	109.63	740.31	0.135901		0.843847
3.20	11280	10353	22323	10807.2	107.57	696.99	0.141034	9.0561	0.905422
3.25	11480	10530	22893	11329.3	105.57	656.92	0.146219		0.970076
3.30	11690	10707	23472	11860.2	103.64	619.71	0.151466	10.1580	1.037998
3.35	11900	10884	24062	12400.0	101.76	585.15	0.156762		1.109246
3.40	12110	11062	24663	12948.6	99.94	552.92	0.162130	11.3532	1.184044
3.45	12320	11241	25274	13506.2	98.17	522.93	0.167537		1.262293
3.50	12530	11419	25895	14072.7	96.46	494.92	0.173009	12.6108	1.344177
3.55	12740	11599	26527	14648.1	94.80	468.68	0.178553		1.429931
3.60	12950	11778	27169	15232.6	93.18	444.08	0.184151	14.0248	1.519678
3.65	13150	11958	27822	15826.0	91.61	421.01	0.189806		1.613368
3.70	13360	12139	28485	16428.4	90.09	399.25	0.195547	15.5272	1.711437
3.75	13570	12320	29159	17039.8	88.60	378.81	0.201346		1.813701
3.80	13780	12501	29843	17660.4	87.15	359.54	0.207202	17.2134	1.920444
3.85	13990	12682	30537	18289.9	85.74	341.27	0.213143		2.031995
3.90	14200	12864	31242	18928.6	84.37	323.97	0.219167	19.0280	2.148281
3.95	14410	13047	31957	19576.4	83.03	307.54	0.225274		2.269687
4.00	14620	13229	32683	20233.3	81.73	291.91	0.231483	21.0290	2.396187
4.05	14820	13412	33419	20899.3	80.46	276.95	0.237814		2.528385
4.10	15030	13595	34166	21574.5	79.22	262.67	0.244236	23.3239	2.666061
4.15	15240	13779	34923	22258.8	78.01	248.93	0.250787		2.809666
4.20	15450	13963	35691	22952.4	76.83	235.63	0.257506	25.8334	2.959621
4.25	15660	14147	36469	23655.1	75.68	222.69	0.264409		3.116191

TABLEAU C. — Chaleur de vaporisation de ^4He .

T_{L55} °K	L_{calc} joule mole $^{-1}$	L_{exp} joule mole $^{-1}$	T_{L55} °K	L_{calc} joule mole $^{-1}$	L_{exp} joule mole $^{-1}$
1.000	80.22		2.400	91.73	91.91
1.100	82.22		2.500	92.29	92.46
1.200	84.17		2.600	92.80	92.95
1.300	86.03		2.700	93.25	93.31
1.400	87.76		2.800	93.58	93.59
1.500	89.36	89.70	2.900	93.81	93.81
1.600	90.74	90.86	3.000	93.91	93.90
1.700	91.88	91.92	3.100	93.90	93.90
1.800	92.72	92.72	3.200	93.75	93.78
1.900	93.17	93.13	3.300	93.44	93.50
2.000	93.13	93.01	3.400	92.99	93.06
2.100	92.32	92.03	3.500	92.42	92.46
2.150	91.47	91.16	3.600	91.64	91.67
2.160	91.21	90.98	3.700	90.71	90.71
2.170	90.86	90.79	3.800	89.53	89.55
2.190	90.75	90.71	3.900	88.17	88.22
2.200	90.75	90.77	4.000	86.56	86.62
2.250	90.91	91.05	4.100	84.59	84.76
2.300	91.16	91.34	4.200	82.34	82.46

ANNEXE T 24

U. S. Naval Research Laboratory (États-Unis d'Amérique)

L'ÉCHELLE DE TEMPÉRATURE 55 E A TENSION DE VAPEUR DE L'HÉLIUM

Par J. R. CLEMENT

INTRODUCTION.

A la Conférence de la Physique des Basses Températures tenue à Paris en septembre 1955, l'insuffisance de l'échelle 1948 [1] définie par une relation entre la tension de vapeur de ^4He et la température a été discutée et il a été proposé de remplacer cette échelle [2]. L'une des deux nouvelles échelles recommandées (L 55) était le résultat d'un calcul thermodynamique de la tension de vapeur, ce calcul étant basé sur l'égalité des potentiels thermodynamiques de Gibbs pour les phases liquide et vapeur coexistantes; ce calcul a été fait par Van Dijk et Durieux [3]. L'autre échelle (55 E) était une échelle empirique établie par l'auteur [4] d'après des mesures récentes [5-10] qui donnent directement la relation entre la tension de vapeur et la température. Le tableau D (p. T 183) donne les tensions de vapeur dans l'échelle 55 E pour des intervalles de 0,01 degré entre 0,5° K et 5,2° K.

ÉTABLISSEMENT DE L'ÉCHELLE 55 E.

Les données fondamentales qui ont constitué la base de l'échelle 55 E étaient les isothermes de Keller [5], les mesures au thermomètre à gaz de Berman et Swenson [6] et les mesures avec les thermomètres magnétiques de Erickson et Roberts [7] et de Ambler et Hudson [8]. L'échelle 55 E a été établie de façon à s'accorder aussi étroitement que possible avec tous les résultats de ces mesures. De plus, nous avons utilisé le rapport entre $\frac{\Delta \log R}{\Delta \left(\frac{1}{T}\right)}$ et T provenant des résultats obtenus par Clement, Logan et

Gaffney [9] et par Corak, Garfunkel, Satterthwaite et Wexler [10] avec des thermomètres à carbone. Nous avons imposé à l'échelle que le rapport $\frac{\Delta \log R}{\Delta \left(\frac{1}{T}\right)}$ en fonction de T soit une courbe régulière

qui puisse être extrapolée d'une manière raisonnable vers la région des températures de l'hydrogène liquide [11]. A cause des discontinuités au point λ dans les résultats de Erickson et Roberts, aussi bien que dans ceux de Clement *et al.*, on a attaché moins d'importance à ces derniers résultats, particulièrement au-dessus

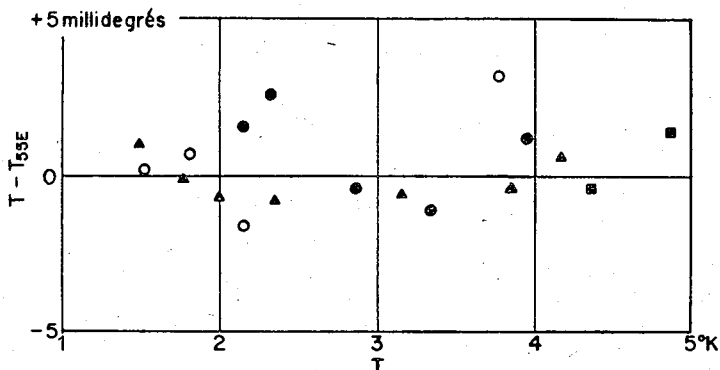


Fig. 1. — Comparaison entre les principaux résultats donnant directement la relation entre la tension de vapeur et la température, et les indications de l'échelle 55 E.

- Keller (⁴He);
- Keller (³He);
- Berman et Swenson;
- ▲ Ambler et Hudson.

du point λ . D'ailleurs, pour que le calcul soit, jusqu'à un certain point, thermodynamiquement cohérent, nous nous sommes astreints à ce que la dérivée première de l'échelle s'accorde, dans l'équation de Clausius-Clapeyron, avec les résultats obtenus par la substitution des valeurs de la chaleur de vaporisation mesurées par Dana et Onnes [12] et par Berman et Poulter [13].

L'échelle 55 E est définie au-dessus du point λ (2,173 5° K) par l'équation

$$(1) \quad \ln p_I = 6,220\ 77 - \frac{8,386\ 1}{T} + 0,945 \ln T + 0,247\ 5 T,$$

et au-dessous du point λ par l'équation

$$(2) \quad \ln p_{II} = 5,048\ 62 - \frac{7,181\ 32}{T} + 2,5 \ln T - 4,75 \cdot 10^{-5} T^2,$$

où p est exprimée en millimètres de mercure à 0°C pour la gravité normale $g_n = 980,665 \text{ cm.s}^{-2}$. Au point λ ($2,173 \text{ } 5^{\circ}\text{K}$) ces deux équations donnent des valeurs continues pour p et dp/dT , mais

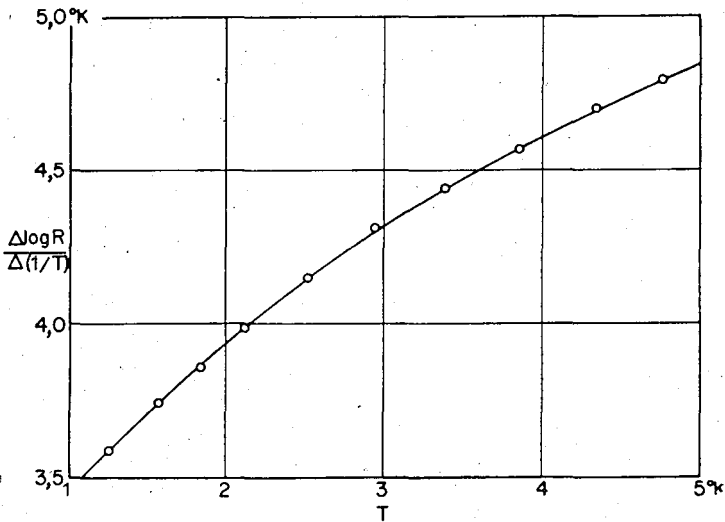


Fig. 2. — La « dérivée » du logarithme de la résistance par rapport à l'inverse de la température 55 E pour les résultats obtenus avec le thermomètre à carbone (Corak *et al.*).

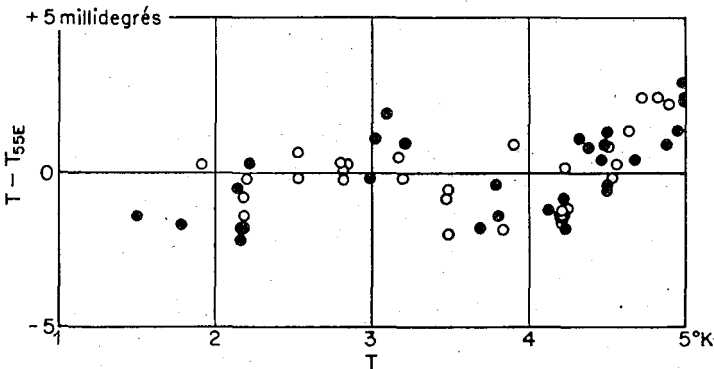


Fig. 3. — Les nouveaux résultats de Durieux avec des thermomètres magnétiques, comparés aux indications de l'échelle 55 E.

- $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$;
- $\text{Mn}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

des valeurs discontinues pour d^2p/dT^2 . La figure 1 montre le rapport entre l'échelle 55 E et les résultats les plus importants utilisés pour son établissement. La figure 2 montre que la condition

concernant les résultats des thermomètres à carbone a été satisfaite.

Récemment, Durieux a fait de nouvelles mesures avec des thermomètres magnétiques [14]; les écarts entre ses nouveaux résultats et l'échelle 55 E sont reportés à la figure 3. A l'exception d'un changement de 0,001 deg dans les constantes de Weiss pour les deux substances, les points indiqués dans la figure représentent les mêmes valeurs que celles obtenues par Durieux dans son analyse.

ÉVALUATION THERMODYNAMIQUE DE L'ÉCHELLE 55 E.

L'égalité des potentiels thermodynamiques de Gibbs pour les phases coëxistantes du liquide et de la vapeur conduit, dans le cas d'une substance monoatomique telle que ⁴He, à l'expression suivante pour la tension de vapeur [15]

$$(3) \quad \ln p = i_0 - \frac{L_0}{RT} + \frac{5}{2} \ln T - \frac{1}{RT} \int_0^T S_l dT + \frac{1}{RT} \int_0^p V_l dp - \varphi,$$

où i_0 est la constante chimique; L_0 , la chaleur de vaporisation à 0° K; R , la constante des gaz parfaits; S_l et V_l , l'entropie et le volume moléculaire du liquide; et φ , un terme qui tient compte du caractère imparfait de la vapeur. Quand l'équation d'état de la vapeur est exprimée sous la forme

$$(4) \quad (PV_g/RT) = 1 + (B/V_g) + (C/V_g^2),$$

on a alors

$$(5) \quad \varphi = (2B/V_g) + (3C/2V_g^2) - \ln(PV_g/RT).$$

Dans cette équation (5), B et C sont les deuxième et troisième coefficients du viriel, et V_g est le volume moléculaire de la vapeur en équilibre avec le liquide.

Pour faire un calcul thermodynamique, il faut substituer des valeurs numériques dans l'équation (3). Les éléments de base utilisés par l'auteur étaient les suivants : selon la mécanique statistique, i_0 est $(8 \pi^2 m^3 k^3)^{1/2} h^{-3}$, où m est la masse d'un atome, k est la constante de Boltzmann, et h est la constante de Planck; avec p en dynes/cm², $i_0 = 12,244$ o. L'auteur a adopté $R = 8,31662$.

L'intégrale de l'entropie liquide, $\int_0^T S_l dT$, a été calculée au moyen des valeurs de l'entropie trouvées par Kramers, Wasscher et Gorter [16] au-dessous de 1,8° K (après une correction pour réduction à l'échelle 55 E), et par Hill et Lounasmaa [17] au-dessus de 1,8° K (les valeurs de Hill et Lounasmaa étaient déjà calculées sur la base de l'échelle 55 E). Dans le voisinage immédiat

du point λ , les valeurs de Hill et Lounasmaa ont été ajustées pour être compatibles avec les résultats relatifs de Fairbanks, Buckingham et Kellers [18].

Pour calculer l'intégrale du volume liquide $\int_0^p V_l dp$, on a utilisé les densités orthobariques indiquées par Kerr [19]. Pour continuer les calculs jusqu'à 4,6° K, il fallait extrapoler un peu les résultats de Kerr. Le fait que la relation entre V_l et p est presque linéaire au-dessus du point λ a rendu cette extrapolation possible avec l'exactitude nécessaire pour ces calculs.

Une nouvelle analyse de toutes les isothermes [5, 20-22] a précédé le calcul de φ . Cette analyse a été faite de la manière suivante : les valeurs de B calculées par Kilpatrick, Keller et Hammel [23] ont été admises comme correctes, puisqu'elles semblent avoir un fondement théorique satisfaisant et qu'elles s'accordent avec les valeurs expérimentales. On peut représenter ces valeurs de B dans de petits intervalles de température par des équations de la forme $B = a - (b/T)$, dans lesquelles a et b doivent avoir des valeurs particulières à chaque intervalle de température. Si l'on substitue une équation de cette forme dans l'équation (4), on obtient

$$(6) \quad \frac{(PV_g^2/R) + b}{\alpha + V_g} = T + \frac{CT}{V_g(\alpha + V_g)}.$$

Le membre de gauche de cette équation est calculable et doit fournir une relation linéaire en fonction de $\frac{1}{V_g(\alpha + V_g)}$. On peut donc obtenir les valeurs de T et de CT; les valeurs de C qui en résultent s'accordent bien avec l'équation

$$(7) \quad C = (5 \cdot 10^3/T) - (10^6/T^5).$$

Dans cette équation, C est exprimé en $\text{cm}^6/\text{mole}^2$. On a calculé φ d'après l'équation (5) en utilisant les valeurs de B de Kilpatrick *et al.*, les valeurs de C données par l'équation (7), et les valeurs de p provenant de l'échelle 55 E.

L_0 est une quantité indéterminée; la meilleure façon de l'évaluer est de la tirer de l'équation (3) après avoir introduit dans cette équation les valeurs expérimentales de p et de T; les isothermes de ^4He de Keller et une partie des résultats obtenus au thermomètre à gaz par Bertram et Swenson ont servi pour ce but. Pour qu'un calcul thermodynamique soit complètement cohérent, les mêmes valeurs des coefficients du viriel doivent être employées dans tous les calculs où elles apparaissent. C'est pourquoi, avant de calculer L_0 , les valeurs de la température ont été calculées de nouveau en partant des résultats de Keller, et en se servant

des valeurs de B et C employées dans le calcul de φ . Swenson avait déjà recalculé les résultats de Berman et Swenson en utilisant les valeurs de B d'après Kilpatrick *et al.* [Ces nouveaux résultats ne sont pas modifiés par la valeur de C tirée de l'équation (7).] L'examen de ces résultats recalculés a conduit l'auteur à adopter pour L_0 la valeur 59,718 joules/mole.

Dans le calcul thermodynamique d'une échelle, on a besoin d'une relation provisoire entre la pression et la température pour calculer φ et $\int_0^p V_l dp$ (l'échelle 55 E a servi comme échelle

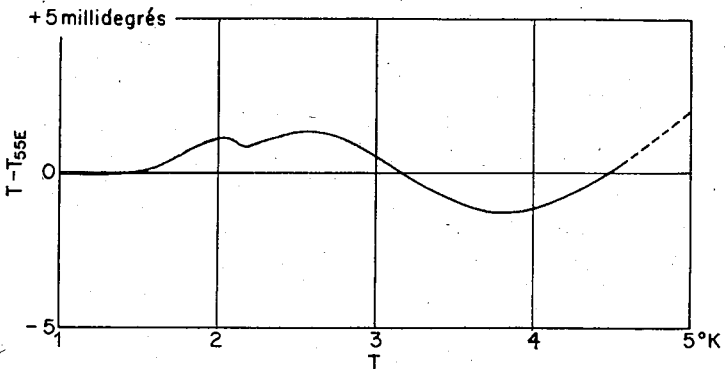


Fig. 4. — Résultats du calcul thermodynamique comparés aux indications de l'échelle 55 E.

provisoire pour les calculs précédents); il faut donc opérer par approximations successives jusqu'à ce que les résultats ne soient plus modifiés d'une manière significative. L'auteur a repris ses calculs pour diverses valeurs de la température. Les changements produits par une seule révision étaient insignifiants, comparés aux incertitudes inhérentes aux données fondamentales employées.

Les résultats du calcul thermodynamique sont présentés numériquement au tableau E (p. T 185) et graphiquement à la figure 4. La courbe des différences de température de la figure 4 donne un écart maximum de + 0,001 3 degré à 2,6° K et de - 0,001 3 degré à 3,8° K. Une extrapolation au-dessus de 4,6° K, la plus haute température à laquelle le calcul thermodynamique était possible, a été ajoutée à cette courbe; cette extrapolation est donnée seulement pour montrer que par un choix raisonnable, le prolongement de la courbe ne dépasse guère l'incertitude de l'échelle 55 E, estimée par nous à 0,002 degré.

TABLEAU D. — *L'échelle 55 E pour la tension de vapeur saturée de ⁴He liquide.*

(Unité : mm Hg à 0° C, $g = 980,665 \text{ cm. s}^{-2}$)

T°K	,00	,01	,02	,03	,04	,05	,06	,07	,08	,09
0,50	,000016	,000022	,000031	,000042	,000056	,000075	,000099	,000129	,000167	,000216
0,60	,000275	,000349	,000440	,000550	,000684	,000845	,001037	,001267	,001539	,001861
0,70	,002238	,002679	,003193	,003789	,004478	,005270	,006179	,007218	,008401	,009745
0,80	,011267	,012984	,014917	,017087	,019517	,022230	,025253	,028612	,032336	,036457
0,90	,041005	,046017	,051527	,057574	,064197	,071437	,079340	,087950	,097314	,107484
1,00	,118511	,130448	,143353	,157284	,172300	,188466	,205847	,224509	,244523	,265960
1,10	,288895	,313404	,339566	,367463	,397178	,428797	,462408	,498102	,535972	,576113
1,20	,618623	,663602	,711152	,761377	,814385	,870285	,929187	,991206	1,05646	1,12506
1,30	1,19713	1,27280	1,35219	1,43542	1,52262	1,61393	1,70948	1,80940	1,91383	2,02291
1,40	2,13678	2,25559	2,37947	2,50857	2,64305	2,78304	2,92872	3,08021	3,23769	3,40131
1,50	3,57122	3,74758	3,93056	4,12032	4,31701	4,52081	4,73188	4,95038	5,17648	5,41035
1,60	5,65216	5,90207	6,16026	6,42689	6,70215	6,98618	7,27918	7,58131	7,89274	8,21363
1,70	8,54417	8,88452	9,23485	9,59532	9,96611	10,3474	10,7393	11,1420	11,5557	11,9806
1,80	12,4167	12,8642	13,3234	13,7943	14,2771	14,7720	15,2790	15,7983	16,3301	16,8745
1,90	17,4316	18,0015	18,5843	19,1802	19,7892	20,4115	21,0471	21,6962	22,3587	23,0348
2,00	23,7245	24,4278	25,1449	25,8757	26,6203	27,3786	28,1508	28,9366	29,7362	30,5495
2,10	31,3765	32,2170	33,0710	33,9384	34,8191	35,7130	36,6198	37,5395	38,4726	39,4215
2,20	40,3866	41,3680	42,3658	43,3802	44,4113	45,4593	46,5244	47,6065	48,7060	49,8229
2,30	50,9573	52,1095	53,2796	54,4676	55,6738	56,8982	58,1411	59,4026	60,6827	61,9817
2,40	63,2996	64,6367	65,9931	67,3688	68,7641	70,1791	71,6139	73,0686	74,5435	76,0386

TABLEAU D (Suite).

T°K	,00	,01	,02	,03	,04	,05	,06	,07	,08	,09
2, 50	77, 5540	79, 0900	80, 6466	82, 2241	83, 8225	85, 4419	87, 0826	88, 7446	90, 4281	92, 1332
2, 60	93, 8601	95, 6089	97, 3797	99, 1728	100, 988	102, 826	104, 686	106, 570	108, 476	110, 405
2, 70	112, 357	114, 332	116, 331	118, 354	120, 400	122, 470	124, 564	126, 682	128, 825	130, 992
2, 80	133, 183	135, 399	137, 640	139, 906	142, 197	144, 513	146, 855	149, 222	151, 615	154, 033
2, 90	156, 478	158, 948	161, 445	163, 968	166, 518	169, 094	171, 697	174, 327	176, 984	179, 668
3, 00	182, 380	185, 119	187, 886	190, 680	193, 502	196, 353	199, 231	202, 138	205, 074	208, 038
3, 10	211, 030	214, 052	217, 103	220, 182	223, 291	226, 430	229, 598	232, 796	236, 024	239, 282
3, 20	242, 570	245, 889	249, 238	252, 617	256, 027	259, 469	262, 941	266, 444	269, 979	273, 545
3, 30	277, 143	280, 773	284, 435	288, 128	291, 854	295, 612	299, 403	303, 227	307, 083	310, 972
3, 40	314, 895	318, 850	322, 839	326, 862	330, 918	335, 008	339, 132	343, 291	347, 483	351, 710
3, 50	355, 972	360, 269	364, 600	368, 966	373, 368	377, 805	382, 278	386, 786	391, 330	395, 910
3, 60	400, 527	405, 179	409, 868	414, 594	419, 356	424, 156	428, 992	433, 866	438, 777	443, 726
3, 70	448, 712	453, 736	458, 798	463, 899	469, 038	474, 215	479, 431	484, 686	489, 980	495, 313
3, 80	500, 685	506, 097	511, 549	517, 040	522, 571	528, 143	533, 754	539, 407	545, 099	550, 833
3, 90	556, 608	562, 424	568, 281	574, 179	580, 119	586, 101	592, 125	598, 192	604, 300	610, 451
4, 00	616, 645	622, 881	629, 161	635, 484	641, 850	648, 259	654, 712	661, 210	667, 751	674, 336
4, 10	680, 966	687, 640	694, 360	701, 124	707, 933	714, 788	721, 688	728, 633	735, 625	742, 662
4, 20	749, 746	756, 876	764, 053	771, 276	778, 546	785, 864	793, 228	800, 641	808, 101	815, 608
4, 30	823, 164	830, 768	838, 420	846, 121	853, 871	861, 670	869, 518	877, 415	885, 362	893, 358
4, 40	901, 405	909, 501	917, 648	925, 846	934, 094	942, 393	950, 743	959, 145	967, 598	976, 102
4, 50	984, 659	993, 268	1001, 929	1010, 642	1019, 408	1028, 227	1037, 099	1046, 025	1055, 004	1064, 036
4, 60	1073, 123	1082, 263	1091, 458	1100, 708	1110, 012	1119, 371	1128, 785	1138, 255	1147, 780	1157, 361
4, 70	1166, 998	1176, 691	1186, 441	1196, 247	1206, 110	1216, 030	1226, 008	1236, 043	1246, 135	1256, 286
4, 80	1266, 494	1276, 761	1287, 087	1297, 471	1307, 914	1318, 417	1328, 979	1339, 601	1350, 283	1361, 024
4, 90	1371, 826	1382, 689	1393, 613	1404, 597	1415, 643	1426, 750	1437, 919	1449, 150	1460, 444	1471, 799
5, 00	1483, 217	1494, 698	1506, 243	1517, 850	1529, 521	1541, 256	1553, 055	1564, 918	1576, 846	1588, 839
5, 10	1600, 896	1613, 019	1625, 208	1637, 462	1649, 782	1662, 168	1674, 621	1687, 140	1699, 726	1712, 380
5, 20	1725, 101	1737, 890	1750, 746	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

TABLEAU E. — Résumé des calculs thermodynamiques.

T	S_{ℓ}	$\int_0^T S_{\ell} dT$	$\int_0^p V_{\ell} dp$	V_g	$-\varphi$	p	$T - T_{55E}$
1,00	0,067	0,011	0,000	525920	0,0008	0,1185	-0,05
1,20	0,208	0,037	0,002	120650	0,0029	0,6188	-0,05
1,40	0,539	0,107	0,008	40576,5	0,0071	2,1371	-0,05
1,60	1,136	0,268	0,021	17404,9	0,0141	5,6487	+0,15
1,80	2,152	0,588	0,046	8819,4	0,0241	12,389	+0,65
1,90	2,858	0,837	0,064	6587,71	0,0302	17,380	+0,90
2,00	3,766	1,166	0,087	5057,77	0,0369	23,647	+1,10
2,05	4,321	1,368	0,101	4474,70	0,0404	27,293	+1,10
2,10	4,970	1,600	0,115	3983,61	0,0441	31,288	+1,05
2,15	5,736	1,865	0,131	3568,39	0,0478	35,635	+0,85
2,17	6,118	1,984	0,137	3420,59	0,0492	37,462	+0,85
2,18	6,294	2,048	0,141	3350,18	0,0500	38,395	+0,85
2,20	6,462	2,177	0,148	3215,23	0,0515	40,303	+0,85
2,40	7,389	3,570	0,231	2197,03	0,0673	63,147	+1,15
2,60	8,102	5,121	0,344	1571,99	0,0846	93,631	+1,30
2,80	8,773	6,808	0,490	1165,57	0,10307	132,948	+1,05
3,00	9,448	8,630	0,675	888,71	0,12249	182,236	+0,55
3,20	10,133	10,588	0,904	692,69	0,14275	242,615	-0,15
3,40	10,833	12,685	1,184	549,375	0,16371	315,174	-0,70
3,60	11,547	14,922	1,521	441,616	0,18532	401,053	-1,15
3,80	12,281	17,305	1,923	358,570	0,20756	501,380	-1,30
4,00	13,048	19,837	2,398	293,093	0,23042	617,350	-1,15
4,10	13,444	21,162	2,668	265,353	0,24209	681,615	-0,95
4,20	13,850	22,526	2,959	240,286	0,25392	750,280	-0,75
4,30	14,283	23,931	3,274	217,452	0,26597	823,560	-0,50
4,40	14,738	25,378	3,616	196,527	0,27816	901,604	-0,25
4,50	15,216	26,873	3,985	177,081	0,29059	984,541	+0,15
4,60	15,722	28,420	4,385	158,570	0,30342	1072,721	+0,45

Unités : T, degré K; S_{ℓ} , joule/mole.degré; $\int_0^T S_{\ell} dT$ et $\int_0^p V_{\ell} dp$, joule/mole; V_g , cm³/mole; φ , sans dimension; p, mm Hg à 0° C, $g = 980,665$ cm.s⁻²; $T - T_{55E}$, millidegré.

CONCLUSIONS.

Les conclusions principales que l'on peut tirer des résultats présentés ici sont 1° que l'échelle 55 E est en accord satisfaisant ($\pm 0,002$ degré) avec toutes les mesures récentes qui donnent directement la relation entre la tension de vapeur et la température et 2° que l'échelle 55 E est thermodynamiquement compatible ($\pm 0,002$ degré) avec les données thermiques les plus récentes. L'échelle 55 E est donc une échelle complètement satisfaisante, tant au point de vue des mesures de la pression qu'au point de vue thermodynamique.

(Texte révisé, juillet 1958)

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] Van DIJK (H.) et SHOENBERG (D.), *Nature*, 164, 1949, p. 151; voir aussi *Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 23-B, 1952, p. T 151.
- [2] *Bulletin Institut International du Froid*, Supplément, Annexe 1955-3, p. 608.
- [3] Van DIJK (H.) et DURIEUX (M.), *Progress in low temperature physics*, vol. II, North-Holland Publishing Co., 1957, p. 431; *Physica*, 24, 1958, p. 1; ce volume, Annexe T 20, p. T 165.
- [4] CLEMENT (J. R.), LOGAN (J. K.) et GAFFNEY (J.), *Phys. Rev.*, 100, 1955, p. 743 (voir « note added in proof »). Cette échelle est aussi appelée quelquefois « Clement's scale of december 1955 » ou « the Baton Rouge table », parce qu'elle a été distribuée pour la première fois sous la forme définitive pendant une conférence de physique des basses températures à Baton Rouge, Louisiana, en décembre 1955.
- [5] KELLER (W. E.), *Phys. Rev.*, 97, 1955, p. 1 (isothermes de ^4He); *Phys. Rev.*, 98, 1955, p. 1571 (isothermes de ^3He); *Phys. Rev.*, 100, 1955, p. 1790 (errata des isothermes de ^4He).
- [6] BERMAN (R.) et SWENSON (C. A.), *Phys. Rev.*, 95, 1954, p. 311.
- [7] ERICKSON (R. A.) et ROBERTS (L. D.), *Phys. Rev.*, 93, 1954, p. 957.
- [8] AMBLER (E.) et HUDSON (R. P.), *J. Res. Nat. Bur. Standards*, 56, 1956, p. 99; 57, 1956, p. 23.
- [9] CLEMENT (J. R.), LOGAN (J. K.) et GAFFNEY (J.), *Naval Research Laboratory Report* n° 4542, mai 1955 (voir aussi la référence [4]).
- [10] CORAK (W. S.), GARFUNKEL (M. P.), SATTERTHWAITTE (C. B.) et WEXLER (A.), *Phys. Rev.*, 98, 1955, p. 1699; *Westinghouse Research Report* n° 60-94466-5-R1, 10 décembre 1955.
- [11] CLEMENT (J. R.), QUINNELL (E. H.), STEELE (M. C.), HEIN (R. A.) et DOLECEK (R. L.), *Rev. Sc. Inst.*, 24, 1953, p. 545 (voir fig. 3).
- [12] DANA (L. I.) et ONNES (H. K.), *Proc. Amst. Acad. Sc.*, 29, 1926, p. 1051; *Comm. de Leyde* n° 179c.

- [13] BERMAN (R.) et POULTER (J.), *Phil. Mag.*, 43, 1952, p. 1047.
- [14] Van DIJK (H.) et DURIEUX (M.), Communication privée.
- [15] Voir MAYER (J. E.) et MAYER (M. G.), *Statistical Mechanics*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1940, p. 292.
- [16] KRAMERS (H. C.), WASSCHER (J. D.) et GORTER (C. J.), *Physica*, 18, 1952, p. 329; *Comm. de Leyde* n° 288c.
- [17] HILL (R. W.) et LOUNASMAA (O. V.), *Phil. Mag.*, 2, 1957, p. 143.
- [18] FAIRBANK (W. M.), BUCKINGHAM (M. J.) et KELLERS (C. F.), *Bull. Amer. Phys. Soc.*, 2, 1957, p. 183.
- [19] KERR (E. C.), *J. Chem. Physics*, 26, 1957, p. 511.
- [20] ONNES (H. K.) et BOKS (J. D. A.), *Comm. de Leyde* n° 170b (1924).
- [21] KEESOM (W. H.) et WALSTRA (W. K.), *Physica*, 7, 1940, p. 985; *Comm. de Leyde* n° 260c.
- [22] KISTEMAKER (J.) et KEESOM (W. H.), *Physica*, 12, 1946, p. 227; *Comm. de Leyde* n° 269b.
- [23] KILPATRICK (J. E.), KELLER (W. E.) et HAMMEL (E. F.), *Phys. Rev.*, 97, 1955, p. 9.

L'ÉCHELLE DE TEMPÉRATURE
A TENSION DE VAPEUR
DANS LE DOMAINE DE L'HÉLIUM LIQUIDE

(Traduction)

Leyde, 17 juin 1958.

MONSIEUR LE PRÉSIDENT DU COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE,

Nous proposons, en tant qu'échelle de référence internationale pour les mesures thermométriques entre 0,5 et 5,20° K, l'adoption de la table de la tension de vapeur de l'hélium établie aux termes de l'accord réalisé sur ce point par Van Dijk, Durieux, Clement et Logan le 16 juin 1958 (p. T 190). Les valeurs de la tension de vapeur sont données dans cette table à intervalles suffisamment rapprochés pour permettre l'interpolation et le calcul des températures avec une exactitude mathématique meilleure que l'incertitude des mesures actuelles avec des thermomètres à tension de vapeur. Les températures de cette table sont exprimées dans l'échelle thermodynamique Kelvin, avec la valeur 273,16° K pour le point triple de l'eau.

La table donnant la tension de vapeur de l'hélium en fonction de la température, table proposée comme échelle de référence, est le fruit de nombreuses années de recherches remontant aux travaux de H. Kamerlingh Onnes, précurseur en ce domaine; par la suite, son successeur W. H. Keesom effectua de nombreux travaux de recherche sur la question, travaux poursuivis ces dernières années par Van Dijk et Durieux à Leyde, et par Clement et Logan à Washington au U. S. Naval Research Laboratory. Ces quatre physiciens, signataires de l'accord réalisé, sont les experts reconnus dans ce domaine de la physique. Aux États-Unis d'Amérique, d'importantes recherches sur l'échelle de l'hélium liquide ont également été effectuées (Hudson et Ambler; Erickson et Roberts; Keller; Berman et Swenson; Corak, Garfunkel, Satterthwaite et Wexler).

A la suite de leurs travaux sur l'échelle de l'hélium liquide, Van Dijk et Clement, travaillant indépendamment l'un de l'autre, ont déjà proposé deux échelles différentes, connues sous les noms de L 55 (p. T 165) et 55 E (p. T 177). Bien que ces deux échelles soient presque identiques et ne diffèrent que de quantités du même ordre que les incertitudes dont chacune d'elles est affectée, l'existence simultanée de deux échelles de référence à usage international a conduit à des confusions embarrassantes; seuls Van Dijk et Clement pouvaient remédier à cette situation en s'accordant sur une échelle unique.

Le 16 juin 1958 à Leyde, Van Dijk, Durieux, Clement et Logan se sont mis d'accord sur l'échelle que nous proposons d'adopter comme référence internationale; les termes de cet accord ainsi que la table donnant la tension de vapeur de l'hélium en fonction de la température sont reproduits ci-après; ils feront l'objet d'une diffusion générale à la Conférence Kamerlingh Onnes qui aura lieu à Leyde, du 23 au 28 juin 1958.

Par le passé, les physiciens travaillant dans le domaine des basses températures ont recherché un accord international sur l'échelle de température à tension de vapeur de l'hélium, par le moyen de la Commission des très Basses Températures de l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée (U. I. P. P. A.). Cette Commission tient régulièrement séance tous les deux ans et l'on y discute régulièrement de l'échelle de température. A la session de 1955 de cette Commission, tenue à Paris, une procédure relative à l'échelle à tension de vapeur de l'hélium a été adoptée; des réunions de spécialistes ont été organisées en liaison avec les séances de la Commission à Madison, Wisconsin, en 1957, et à Leyde, juin 1958. Le but de ces réunions a été la recherche d'un accord international sur les perfectionnements à apporter à l'échelle. Les séances tenues par la Commission des Basses Températures sous les auspices de l'U. I. P. P. A., sont l'occasion pour les physiciens du domaine des basses températures d'étudier dans de bonnes conditions le problème des échelles de température et de parvenir à des accords à leur sujet.

Il a été suggéré que les accords internationaux sur l'échelle de température à tension de vapeur de l'hélium devraient être sanctionnés par le Comité International des Poids et Mesures. Si tel est l'avis du Comité Consultatif de Thermométrie, le moment est venu de proposer à ce dernier l'échelle qui vient de faire l'objet d'un accord entre Van Dijk, Durieux, Clement et Logan. Nous pouvons dire avec assurance que cette échelle conviendra à l'ensemble des physiciens des basses températures et que l'adoption formelle d'une échelle de référence unique est vivement désirée.

.....

Tout en présentant cette échelle à tension de vapeur de l'hélium au Comité Consultatif de Thermométrie en vue de son adoption internationale, nous nous réservons également le droit de la présenter à la Conférence Kamerlingh Onnes pour les dispositions à prendre au cas où le Comité Consultatif n'aurait pas émis de résolution favorable dans ses séances des 20 et 21 juin 1958. Les physiciens du domaine des basses températures ont un besoin urgent d'une échelle approuvée formellement.

C. J. GORTER,
Director, Kamerlingh Onnes Laboratorium,
F. G. BRICKWEDDE,
Dean, Pennsylvania State University
and Consultant to the Director National
Bureau of Standards.

L'ÉCHELLE DE TEMPÉRATURE 1958 A TENSION DE VAPEUR DE L'HÉLIUM

Depuis 1955, deux échelles de température à tension de vapeur de ^4He sont en usage : l'échelle 55 E de J. R. Clement du United States Naval Research Laboratory (Annexe T 21, p. T 177) et l'échelle L 55 de H. Van Dijk et M. Durieux du Kamerlingh Onnes Laboratorium (Annexe T 20, p. T 165).

Bien que ces deux échelles ne diffèrent que de quelques millièmes de degré et que cette différence soit insignifiante pour la plupart des résultats expérimentaux, elle peut cependant avoir une influence sur certains résultats, tels que ceux de mesures très précises de chaleurs spécifiques, par exemple. En outre, il est regrettable que chaque fois que des températures sont données à 0,001 degré près, les petites différences apparaissent suivant l'échelle employée et que des réductions soient nécessaires pour une comparaison des résultats.

Dans le but de remédier à cette fâcheuse situation, une réunion s'est tenue au National Bureau of Standards, Washington, les 30, 31 juillet et 1^{er} août 1957. Les difficultés concernant l'échelle dans le domaine de ^4He liquide ont été minutieusement examinées et un programme a été adopté pour la mise au point, par les auteurs des échelles L 55 et 55 E, d'une échelle unique susceptible de recevoir un accord général.

La conclusion essentielle de cette réunion a été que Clement, Van Dijk et Durieux essaieraient de calculer une nouvelle échelle

reposant principalement sur une base thermodynamique, mais en tenant compte également de tous les renseignements précis que l'on peut tirer des mesures de la tension de vapeur avec des thermomètres secondaires.

Récemment, Van Dijk et Durieux à Leyde, Clement et Logan à Washington, ont considéré plusieurs échelles nouvelles.

Les signataires proposent maintenant pour les mesures de température entre 0,5 et 5,20° K (point critique), une échelle unique définie par la table ci-après (tableau F) donnant la tension de vapeur d'équilibre de ⁴He liquide en fonction de la température.

Nous recommandons l'emploi général de cette table et nous suggérons de l'appeler « Échelle 1958 », les températures dans cette échelle étant désignées par T₅₈.

Lorsqu'en 1948 la Commission des Basses Températures de l'U. I. P. P. A. recommandait l'emploi de l'« Échelle 1948 », elle encourageait aussi les physiciens du domaine des basses températures à étudier et à améliorer cette échelle; elle avait en effet pleinement conscience que si l'« Échelle 1948 » était la meilleure sur laquelle on pouvait s'accorder à l'époque, elle n'était pas satisfaisante à tous égards. On se rendait compte en 1948, comme nous le faisons aussi maintenant, que tous les résultats expérimentaux sont affectés d'erreurs de mesure et d'incertitudes, et qu'il n'est pas possible de les rendre tous parfaitement cohérents, même les meilleurs et les plus sûrs. Nous recommandons aussi que les physiciens du domaine des basses températures continuent à étudier et à améliorer l'échelle.

La table (F) qui définit l'échelle donne la relation entre la tension de vapeur de ⁴He liquide et la température exprimée dans l'échelle thermodynamique Kelvin, dans laquelle la température du point triple de l'eau est 273,16° K. Lors de la mesure d'une température entre 0,5 et 5,20° K à l'aide du thermomètre à tension de vapeur de l'hélium, la question se pose toujours de savoir si le corps ou le milieu dont on désire connaître la température est en relation thermique bien définie avec l'hélium dont on mesure la tension de vapeur. La réponse à cette question dépend de l'appareillage et du procédé expérimental. Quelle que puisse être la valeur de l'échelle de température, une mesure de température ne sera bonne que si le thermomètre et le milieu dont on désire connaître la température sont en équilibre thermique.

La table, établie de centième en centième de degré, est suffisante pour définir l'échelle.

Pour plus de commodité au laboratoire et pour faciliter l'interpolation, une table plus détaillée, de millième en millième de degré, sera calculée et publiée; afin que les valeurs de cette table détaillée soient distribuées plus régulièrement nous avons admis

TABLEAU F. — *Tension de vapeur de ⁴He : Échelle ⁴He 1958.*
 (Unité : 10⁻⁸ mm Hg à 0° C, $g = 980,665 \text{ cm. s}^{-2}$)

T	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.5	.016342 .28121 2.2787 11.445 41.581	.022745 .35649 2.7272 13.187 46.656	.031287 .44877 3.2494 15.147 52.234	.042561 .56118 3.8549 17.348 58.355	.057292 .69729 4.5543 19.811 65.059	.076356 .86116 5.3591 22.561 72.386	1.0081 1.0574 6.2820 25.624 80.382	.13190 1.2911 7.3365 29.027 89.093	.17112 1.5682 8.5376 32.800 98.567	.22021 1.8949 9.9013 36.974 108.853
1.0	120.000 292.169 625.025 1208.51 2155.35	132.070 316.923 670.411 1284.81 2274.99	145.116 343.341 718.386 1364.83 2399.73	159.198 371.512 769.057 1448.73 2529.72	174.375 401.514 822.527 1536.61 2665.09	190.711 433.437 878.916 1628.62 2805.99	208.274 467.365 938.330 1724.91 2952.60	227.132 503.396 1000.87 1825.58 3105.04	247.350 541.617 1066.67 1930.79 3263.48	269.006 582.129 1135.85 2040.67 3428.07
1.5	3598.97 5689.88 8590.22 12466.1 17478.2	3776.32 5940.76 8931.18 12913.7 18047.9	3960.32 6199.90 9282.06 13372.8 18630.1	4151.07 6467.42 9643.02 13843.6 19225.5	4348.79 6743.57 10014.3 14326.1 19834.1	4553.58 7028.47 10395.9 14820.7 20455.9	4765.68 7322.31 10788.2 15327.3 21091.1	4985.18 7625.21 11191.2 15846.3 21739.7	5212.26 7937.40 11605.1 16377.7 22402.7	5447.11 8259.02 12030.1 16921.7 23077.9
2.0	23767.4 31428.1 40465.6 51012.3 63304.3	24470.9 32271.1 41446.6 52160.2 64635.2	25188.1 33128.0 42443.5 53325.8 65985.4	25919.2 33998.6 43456.5 54509.2 67354.8	26664.2 34882.8 44485.7 55710.5 68743.5	27423.3 35780.3 45531.3 56930.0 70152.0	28196.3 36690.9 46593.5 58167.8 71580.2	28983.2 37614.3 47672.5 59423.8 73028.1	29784.2 38550.2 48768.6 60698.8 74496.2	30599.1 39500.3 49881.8 61992.0 75984.2
2.5	77493.1 93733.4 112175 132952 156204	79022.2 95476.0 114145 135164 158671	80572.2 97240.8 116139 137401 161164	82142.9 99028.2 118156 139663 163684	83734.6 100838 120198 141949 166230	85347.2 102669 122263 144260 168802	86981.2 104525 124353 146597 171402	88636.7 106403 126465 148961 174028	90313.8 108304 128603 151349 176682	92012.6 110228 130765 153763 179364
3.0	182073 210711 242266 276880 314697	184810 213732 245587 280516 318659	187574 216783 248939 284183 322654	190366 219864 252322 287883 326684	193187 222975 255736 291615 330747	196037 226115 259182 295380 334845	198914 229285 262658 299178 338976	201820 232484 266166 303008 343141	204755 235714 269706 306871 347341	207719 238974 273278 310768 351575
3.5	355844 400471 448702 500688 556574	360147 405130 453729 506098 562383	364485 409825 458794 511547 568234	368860 414556 463897 517036 574126	373269 419324 469038 522564 580059	377714 424128 474218 528132 586034	382194 428968 479435 533739 592051	386710 433846 484691 539387 598110	391262 438760 489985 545075 604210	395849 443713 495317 550805 610352
4.0	616537 680740 749328 822411 900258	622764 687399 756431 829978 908313	629033 694103 763579 837592 916418	635345 700851 770772 845255 924573	641700 707643 778010 852966 932778	648099 714479 785294 860725 941033	654541 721360 792623 868533 949338	661026 728285 799999 876390 957693	667554 735255 807422 884296 966099	674125 742269 814893 892252 974556
4.5	983066 1071029 1164339 1263212 1367870	991628 1080114 1173972 1273414 1378662	1000239 1089254 1183662 1283673 1389516	1008905 1098449 1193407 1293991 1400429	1017621 1107699 1203209 1304367 1411404	1026390 1117002 1213066 1314802 1422438	1035213 1126359 1222981 1325297 1433533	1044087 1135772 1232955 1335850 1444690	1053014 1145239 1242983 1346462 1455911	1061995 1154761 1253069 1357136 1467191
5.0	1478535 1595437 1718817	1489940 1607481 1731521	1501409 1619589 1744290	1512940 1631761	1524535 1644000	1536192 1656305	1547912 1668673	1559698 1681108	1571546 1693612	1583458 1706180

une tolérance de ± 2 unités sur le dernier chiffre des tensions de vapeur.

Une table inverse donnant la température en fonction de la tension de vapeur sera également publiée, ainsi que des tables auxiliaires.

H. Van DIJK,

J. R. CLEMENT,

M. DURIEUX,

J. K. LOGAN.

Note du Bureau International des Poids et Mesures. — La recommandation du Comité Consultatif de Thermométrie (p. T 17), approuvée par le Comité International des Poids et Mesures en octobre 1958, fait de la table du tableau F la définition officielle de l'« Échelle ⁴He 1958 ».

Le nombre de chiffres que comportent les valeurs de cette table est uniquement donné pour faciliter l'interpolation et la dérivation.

National Bureau of Standards (États-Unis d'Amérique)

NOTE SUR LE PROJET DE RÉVISION
DU TEXTE DE L'ÉCHELLE INTERNATIONALE
DE TEMPÉRATURE DE 1948

(Traduction)

Dans les Procès-Verbaux de la session de 1954 du Comité Consultatif de Thermométrie, nous lisons ceci : « Mr Volet remarque que la décision qui vient d'être prise [définition de l'échelle thermodynamique au moyen d'un point fixe fondamental] obligera à réviser le texte de l'Échelle Internationale. Il insiste pour que cette révision se limite à la première partie qui sert d'introduction, et non à la deuxième partie qui contient la définition de l'Échelle Internationale, et qu'il ne lui paraît pas opportun de changer pour le moment ». Le Président demanda alors au Membre du Comité Consultatif représentant le N. B. S. « de préparer la révision de l'introduction de l'Échelle Internationale, en tenant compte de ce qui aura été adopté à cette session » (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 24, 1954, p. T 22). Le National Bureau of Standards soumet en conséquence au Comité Consultatif le projet suivant (p. T 198) pour base de discussion.

A plusieurs reprises, au cours des séances, on s'accorda à reconnaître que des modifications ou additions devraient être faites dans d'autres parties du texte. Pour ces raisons, ce projet n'est pas limité uniquement à l'introduction, mais constitue une révision de l'ensemble du texte. En dépit des apparences, nous croyons que cette révision est en accord avec l'opinion émise par Mr Volet, en ce sens que « l'objet de la présente révision n'est pas de modifier la valeur des températures, mais de rendre le texte de l'échelle conforme aux décisions des Neuvième et Dixième Conférences Générales des Poids et Mesures, ainsi qu'aux modes opératoires actuels. Étant donné qu'aucune température ne sera modifiée d'une quantité supérieure aux erreurs de mesure, l'échelle conser-

vera le nom d'Échelle Internationale de Température de 1948 ».

Le changement le plus important dans la partie du texte se rapportant aux définitions est le remplacement du point de fusion de la glace par le point triple de l'eau comme point fixe de l'Échelle. Ce changement est en accord avec une résolution adoptée en 1948 qui pose que le point triple de l'eau constitue un repère thermométrique plus précis que le point de fusion de la glace.

A la première séance de la session de mai 1948 du Comité Consultatif, il est apparu à l'unanimité que le point triple de l'eau devrait remplacer le point de fusion de la glace comme point fixe de l'Échelle Internationale; mais on attira l'attention sur le fait que cela conduirait à un intervalle de 99,99 degrés seulement entre le point triple et le point d'ébullition de l'eau. Un tel intervalle fondamental, fit-on remarquer, serait incompatible avec le mot « centigrade », alors en usage dans de nombreux pays. A la deuxième séance, il fut décidé de conserver le point de glace comme point fixe de l'échelle, mais de recommander que « pour les travaux de très haute précision, le point zéro soit réalisé à l'aide du point triple de l'eau, point auquel la valeur $+ 0,010 \text{ } ^\circ\text{C}$ fut assignée ». Ce procédé a été adopté dans plusieurs laboratoires depuis plus de dix ans.

En octobre 1948, la Conférence Générale décida d'elle-même d'abandonner l'usage des mots « Centigrade » et « Centésimal », et de les remplacer par celui de « Celsius », qui avait d'ailleurs été toujours utilisé dans plusieurs pays. Cette décision semble avoir supprimé la principale objection à l'adoption du point triple de l'eau comme point fixe de l'Échelle, de sorte que cette dernière peut maintenant être définie avec plus de précision. « De plus, ce changement fait coïncider exactement l'Échelle Internationale avec l'échelle thermodynamique au point qui définit la grandeur du degré dans l'échelle thermodynamique. »

Pour les thermomètres à résistance et les thermocouples étalons, le critère de pureté du platine est fondé sur le rapport R_{100}/R_0 . En 1948, la limite inférieure de ce rapport a été portée à 1,3910; cette augmentation ne fut pas aussi grande qu'on le souhaitait, car l'on craignait à cette époque que certains pays ne puissent se procurer du platine de pureté suffisante. Maintenant qu'il est possible d'obtenir du platine de pureté plus grande, il semble souhaitable d'augmenter la limite inférieure du rapport.

A la session de 1952 du Comité Consultatif, R. J. Corruccini a montré qu'un grand nombre de thermocouples soumis ces dernières années au National Bureau of Standards pour étalon-

nage, ne pouvait prétendre au qualificatif de thermocouples étalons en se basant sur les définitions établies en 1948 pour l'Échelle Internationale de Température (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 23-B, 1952, Annexe T 14, p. T 132). Il expliquait ce fait en montrant que la pureté du platine dans ces thermocouples était trop élevée. On a toujours fixé des critères pour la limite inférieure de la pureté du platine, mais on n'en a jamais suggéré pour une limite supérieure. Corruccini proposait des critères qui permettraient de qualifier ces thermocouples de thermocouples étalons.

A la troisième séance de la session de 1954, G. Kondratiev exposait que même les critères proposés en 1952 éliminaient le platine le plus pur; mais à ce moment il ne pouvait dire comment modifier les critères pour inclure ce platine dans les tolérances. Il pensait qu'une nouvelle révision était sans doute nécessaire (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 24, 1954, p. T 39). Les critères de Corruccini sont donnés ici en vue d'une modification ultérieure.

Dans la partie du texte concernant les thermomètres à résistance étalons, les critères pour les constantes B et C sont ceux qui figurent à l'Annexe T 11 de la session de 1952 (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 23-B, 1952, p. T 104); ils remplacent les critères plus compliqués, mais essentiellement équivalents, du texte de l'Échelle de 1948.

Au sujet de la pression, H. Moser disait voir deux définitions de l'atmosphère normale (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 24, 1954, p. T 19). L'une d'elles se rapportait à 760 mm Hg, la masse volumique du mercure étant prise à 0° C sous une attraction de gravitation normale. Cette référence n'a pas d'utilité pratique, sinon de rappeler l'évolution de la définition de l'atmosphère; elle n'est pas utilisée dans la présente révision. A la place de la masse volumique moyenne du mercure à 0° C, on donne une valeur à sept chiffres pour 20° C et 0,5 atmosphère; cette valeur provient de la plus récente détermination du N. P. L. pour 20° C et 1 atmosphère. Heureusement, cette valeur arrondie à six chiffres est en accord avec l'ancienne valeur de la masse volumique du mercure définie à 0° C, de sorte que cette modification n'entraînera pas de changements sensibles de la valeur des températures. Pour la valeur locale de la gravité, le système de Potsdam doit être utilisé comme l'a proposé le Comité Consultatif et recommandé le Comité International en 1954, jusqu'à ce que ce dernier ait sanctionné l'emploi d'un autre système (*Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 24, 1954, p. 83, 86).

Les mesures de pression sont nécessaires pour la réalisation des points d'ébullition. En pratique, l'évolution vers une plus grande stabilité et une plus grande exactitude conduit à utiliser

des systèmes clos, où la pression peut être maintenue très voisine de 1 atmosphère. Pour cette raison, on a jugé inutile de conserver les formules logarithmiques permettant d'obtenir les températures d'ébullition dans de larges intervalles de pression.

Dans la première séance de la session de 1954 du Comité Consultatif, l'attention fut attirée sur les variations possibles de la composition isotopique de l'eau utilisée dans les ampoules à point triple. Ces variations sont petites, il est vrai, mais pourraient devenir discernables à l'avenir. Il fut décidé à l'époque que des remarques de cette nature devraient figurer dans la partie « Recommandations »; elles ont donc été incluses au paragraphe III.4.

Les paragraphes concernant les points d'ébullition de l'oxygène et de l'eau et les points de solidification de l'argent et de l'or ont été revus légèrement pour les mettre en accord avec les modes opératoires actuels. Quelques changements et additions minimales ont été apportés à la dernière partie du texte « Renseignements supplémentaires » pour la mettre à jour.

Un nouveau paragraphe (III.9) pour le point de solidification du zinc, a été ajouté dans le but de provoquer une discussion sur ce sujet à la session de 1958. Dans les Procès-Verbaux des sessions de 1952 et de 1954, il est fait état à plusieurs reprises de la possibilité d'utiliser le point de solidification du zinc comme point fixe de l'Échelle. La technique de réalisation de ce point a été portée à un haut degré de perfection au National Research Council, au Canada. Le point de solidification du zinc semble spécialement intéressant comme point fixe en ce sens qu'une variation de pression donnée affecte la température de ce point 10⁴ fois moins que celle du point d'ébullition du soufre. D'après le N. R. C., le point de solidification du zinc de très grande pureté est hautement reproductible; des échantillons de zinc en provenance de divers pays ont donné, au Canada, les mêmes températures de palier à la précision des mesures près (0,000 2 degré).

Le soufre, de son côté, semble moins satisfaisant dès qu'une plus grande précision est recherchée; sa pureté demande plus de précautions; mais il peut y avoir d'autres facteurs plus importants qui n'ont pas été mis en évidence. On a trouvé, dans les deux laboratoires nationaux d'Amérique du Nord, que la température d'ébullition évoluait encore longtemps après le début de l'ébullition, ce qui soulève plusieurs questions. Pourquoi cette évolution existe-t-elle dans certains laboratoires? Quand la température d'équilibre est-elle atteinte? Cette température d'équilibre est-elle la même dans les différents laboratoires?

Actuellement, le point de solidification du zinc ne devrait pas

figurer dans la partie du texte « Recommandations », parce qu'il n'est qu'un repère secondaire et non un point fixe de l'Échelle. Il serait cependant possible au Comité Consultatif de se mettre d'accord sur une valeur pour le point de solidification du zinc, en s'appuyant sur des déterminations faites avec des thermomètres à résistance étalonnés dans différents laboratoires, à partir du point d'ébullition du soufre. Cette valeur pourrait ainsi être considérée comme en accord avec l'Échelle de 1948 aux erreurs de mesure près. Le point de solidification du zinc pourrait alors remplacer le point d'ébullition du soufre comme point fixe et l'échelle serait encore l'Échelle Internationale de Température de 1948. Si l'Échelle était ainsi rendue plus précise et plus reproductible, ce changement serait le bienvenu.

(7 janvier 1958)

Projet de révision du texte de
L'ÉCHELLE INTERNATIONALE
DE TEMPÉRATURE DE 1948

établi par le National Bureau of Standards (7 janvier 1958)

(Traduction)

I. INTRODUCTION.

L'échelle Kelvin, dans laquelle les températures sont désignées par °K et représentées par le symbole T , est reconnue comme l'échelle thermodynamique fondamentale à laquelle toute mesure de température doit pouvoir être finalement rapportée. Quand Kelvin établit les bases de cette échelle en 1854, il définit la grandeur du degré en fixant à 100 degrés l'intervalle entre le point de fusion de la glace et le point d'ébullition de l'eau, afin de conserver « une liaison avec la thermométrie pratique en usage jusqu'alors ». Il ajouta cependant qu'il serait préférable de fixer la grandeur du degré en choisissant une valeur pour une température bien définie, telle que le point de fusion de la glace, et qu'un tel procédé devrait être adopté finalement. Le désir de Kelvin fut réalisé en 1954 lorsque la Dixième Conférence Générale des Poids et Mesures redéfinit la grandeur du degré, en adoptant pour le point triple de l'eau la valeur 273,16 exactement.

Une résolution adoptée par la Neuvième Conférence Générale des Poids

et Mesures en 1948 avait déjà reconnu que le point triple de l'eau était un repère thermométrique plus précis que le point de fusion de la glace, et elle avait en conséquence estimé que le zéro de l'échelle thermodynamique Celsius devait être défini comme étant la température inférieure de 0,010 0 degré à celle du point triple de l'eau pure. Dans l'échelle thermodynamique Celsius, les températures sont maintenant désignées par °C (therm.), représentées par le symbole t_{th} et égales à $T - 273,15$.

Les difficultés expérimentales inhérentes aux mesures de température dans l'échelle thermodynamique conduisirent à l'adoption en 1927, par la Septième Conférence Générale des Poids et Mesures, d'une échelle pratique qui fut désignée sous le nom d'Échelle Internationale de Température. Cette échelle devait s'accorder avec l'échelle thermodynamique Celsius (alors appelée échelle thermodynamique centigrade) aussi étroitement qu'il était possible dans l'état des connaissances à cette époque. Elle fut établie de façon à être aisément et exactement reproductible et à fournir les moyens de spécifier toute température entre des limites beaucoup plus étroites qu'il était possible dans l'échelle thermodynamique.

L'Échelle Internationale de Température fut révisée en 1948, avec quelques changements sensibles de la valeur des températures au-dessus du point de solidification de l'or. L'objet de la présente révision n'est pas de modifier la valeur des températures, mais de rendre le texte de l'Échelle conforme aux décisions des Neuvième et Dixième Conférences Générales des Poids et Mesures ainsi qu'aux modes opératoires actuels. Étant donné qu'aucune température ne sera modifiée d'une quantité supérieure aux erreurs de mesure, l'Échelle conservera le nom d'Échelle Internationale de Température de 1948.

Un des changements essentiels de la présente révision est le remplacement du point de fusion de la glace par le point triple de l'eau comme point fixe de l'Échelle. Ce changement est en accord avec le principe énoncé dans la Résolution 3 de la Neuvième Conférence Générale des Poids et Mesures (1948), qui stipule que le point triple de l'eau est un repère thermométrique plus précis. De plus, ce changement fait coïncider exactement l'Échelle Internationale avec l'échelle thermodynamique au point qui définit la grandeur du degré de l'échelle thermodynamique.

Le tableau suivant donne la nomenclature adoptée pour relier mutuellement les échelles internationale et thermodynamique; les flèches indiquent le sens du passage de la température définie en premier lieu à la température dérivée par changement d'origine.

ÉCHELLE INTERNATIONALE.

Température internationale t indication : °C (Int. 1948) degré Celsius international 1948	\longrightarrow | | |	Température internationale Kelvin $T_{int} = t + 273,15$ (exactement) indication : °K (Int. 1948) degré Kelvin international 1948
--	---------------------------------	--

ÉCHELLE THERMODYNAMIQUE.

Température thermodynamique Celsius $t_{th} = T - 273,15$ (exactement) indication : °C (therm.) degré Celsius thermodynamique	← | | | |	Température thermodynamique T indication : °K degré Kelvin
---	----------------------	---

(La simple indication °C ou °K sera suffisante dans bien des cas.)

II. DÉFINITION DE L'ÉCHELLE INTERNATIONALE
DE TEMPÉRATURE DE 1948.

Les températures Celsius dans l'Échelle Internationale de Température de 1948 sont désignées par °C ou °C (Int. 1948) et représentées par le symbole t . Les températures internationales Kelvin correspondantes sont désignées par °K (Int. 1948) et représentées par le symbole T_{int} .

L'Échelle Internationale de Température est fondée sur six températures reproductibles (points fixes) auxquelles sont assignées des valeurs numériques, et sur des formules spécifiées établissant la relation entre la température et les indications des instruments étalonnés au voisinage de ces températures. Ces points fixes sont définis par des états d'équilibre spécifiés, chacun d'eux, sauf pour le point triple de l'eau, étant sous une pression de 1 atmosphère normale, c'est-à-dire 101 325 newtons par mètre carré, par définition.

La température internationale Kelvin T_{int} est égale à $t + 273,15$.

Les points fixes de l'Échelle et les valeurs numériques exactes qui leur sont assignées sont donnés au tableau I.

TABLEAU I.

*Points fixes de définition sous la pression de 1 atmosphère normale,
sauf pour le point triple de l'eau.*

	Température °C (Int. 1948).
Température d'équilibre entre l'oxygène liquide et sa vapeur (point d'ébullition de l'oxygène).....	— 182,97
Température d'équilibre entre la glace, l'eau liquide et la vapeur d'eau (point triple de l'eau normale).....	+ 0,01
Température d'équilibre entre l'eau liquide et sa vapeur (point d'ébullition de l'eau).....	100
Température d'équilibre entre le soufre liquide et sa vapeur (point d'ébullition du soufre).....	444,6
Température d'équilibre entre l'argent solide et l'argent liquide (point de solidification de l'argent).....	960,8
Température d'équilibre entre l'or solide et l'or liquide (point de solidification de l'or).....	1063

L'échelle de température est divisée en quatre régions.

a. De 0° C à 630,5° C, la température t est définie par la formule

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2),$$

dans laquelle R_t est la résistance à la température t du fil de platine d'un thermomètre à résistance étalon entre les points de bifurcation formés par la soudure du conducteur de courant et du conducteur de potentiel, et R_0 la résistance à 0° C. Les constantes R_0 , A et B doivent être déterminées à partir des valeurs de R_t au point triple de l'eau et aux points d'ébullition de l'eau et du soufre. Le platine d'un thermomètre à résistance étalon doit être recuit et sa pureté doit être telle que R_{100}/R_0 ne soit pas inférieur à 1,392 2.

b. Du point d'ébullition de l'oxygène à 0° C, la température t est définie par la formule

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

dans laquelle R_0 , A et B sont déterminées de la même façon que ci-dessus en (a), la constante C étant déterminée à partir de la valeur de R_t au point d'ébullition de l'oxygène.

c. De 630,5° C au point de solidification de l'or, la température t est définie par la formule

$$E = a + bt + ct^2,$$

dans laquelle E est la force électromotrice d'un thermocouple étalon de platine et platine rhodié, lorsque l'une des soudures est à 0° C et l'autre à la température t . Les constantes a , b , c doivent être déterminées à partir des valeurs de E à 630,5° C, et aux points de solidification de l'argent et de l'or. La température t à laquelle se fait l'étalonnage à 630,5° C doit être déterminée par un thermomètre à résistance étalon.

Le fil de platine du thermocouple étalon doit être recuit et d'une pureté telle que le rapport R_{100}/R_0 ne soit pas inférieur à 1,392 0. Le fil d'alliage doit contenir nominalemeut 90 pour 100 de platine et 10 pour 100 de rhodium en poids. Quand l'une des soudures du thermocouple est à 0° C et l'autre, soit à 630,5° C, soit au point de solidification de l'argent, soit au point de solidification de l'or, le thermocouple achevé doit donner des forces électromotrices telles que l'on ait

$$E_{Au} = 10\,300 \pm 50 \mu V,$$

$$E_{Au} - E_{Ag} = 1\,183 + 0,158(E_{Au} - 10\,300) \pm 4 \mu V,$$

$$E_{Au} - E_{630,5} = 4\,766 + 0,631(E_{Au} - 10\,300) \pm 8 \mu V.$$

d. Au-dessus du point de solidification de l'or, la température t est définie par la formule

$$\frac{J_t}{J_{Au}} = \frac{\frac{C_2}{e^{\lambda(1063 + 273,15)}} - 1}{\frac{C_2}{e^{\lambda(t + 273,15)}} - 1},$$

dans laquelle

J_t et J_{Au} sont les énergies de rayonnement de longueur d'onde λ par

intervalle unité de longueur d'onde, émises en une unité de temps par l'unité d'aire d'un corps noir dans l'angle solide unité, à la température t et au point de solidification de l'or;

$C_2 = 1,438$ cm. degré;

λ est exprimé en centimètres;

e est la base des logarithmes népériens.

III. RECOMMANDATIONS.

Les recommandations suivantes sont des conseils plutôt que des prescriptions. Les appareils, les méthodes et les modes opératoires recommandés représentent une bonne pratique à l'époque actuelle, mais on n'a pas eu l'intention de retarder la mise au point et l'utilisation d'améliorations et de perfectionnements. L'expérience a montré que ces recommandations sont favorables à l'uniformité et à la reproductibilité dans la réalisation de l'Échelle de Température définie au chapitre II.

1. *Thermomètre à résistance étalon.* — Un thermomètre à résistance étalon doit être conçu et construit de façon que le fil résistant de platine soit aussi dépourvu de tension qu'il est possible et qu'il reste dans cet état pendant son utilisation. Le fil de platine doit être étiré à partir d'un lingot fondu, et non d'une mousse martelée.

Des thermomètres à résistance étalons ont été fabriqués avec du fil d'un diamètre compris entre 0,05 et 0,5 mm, un court tronçon au moins de chaque conducteur aboutissant à la résistance étant également en platine. La bobine de résistance du thermomètre, une fois achevée, doit être recuite dans l'air à une température supérieure à la température la plus élevée à laquelle le thermomètre doit être utilisé; cette température de recuit ne doit, dans aucun cas, être inférieure à 450° C. Il est recommandé que le tube qui protège la bobine terminée soit rempli d'un gaz contenant un peu d'oxygène.

Un critère utile qui sert de sauvegarde contre un défaut de construction du thermomètre achevé et contre des erreurs dans l'étalonnage aux points fixes est que la valeur de la constante B soit $(0,5857 \pm 0,0010) \cdot 10^{-9}/\text{deg}^2$ et celle de C, $(4,35 \pm 0,05) \cdot 10^{-12}/\text{deg}^4$. Un autre critère utile pour juger de l'efficacité du recuit et de la fidélité du thermomètre est la constance de sa résistance à une température repère. Par exemple, la résistance d'un thermomètre au point triple de l'eau ne doit pas changer d'une quantité supérieure à celle qui correspond à 0,001 degré lorsque le thermomètre est soumis à un cycle de variations de température tel que celui qui est nécessaire pour son étalonnage.

2. *Thermocouple étalon.* — Des thermocouples étalons ont été fabriqués avec des fils d'un diamètre compris entre 0,35 et 0,65 mm. Avant l'étalonnage, les fils du thermocouple doivent être recuits dans l'air pendant une heure à environ 1450° C. Les fils du thermocouple doivent être montés de telle sorte que soit évitée toute contrainte mécanique aux endroits où des gradients élevés de température risquent de se présenter.

La force électromotrice du thermocouple à 630,5° C doit être déterminée par des mesures effectuées à une température uniforme et constante, comprise entre 630,3 et 630,7° C.

3. *Pression.* — Par définition, l'atmosphère normale est la pression de 101 325 newtons par mètre carré. En pratique, la pression est déterminée au moyen d'une colonne de mercure. On peut admettre que la masse volumique à 20° C du mercure pur est 13,545 87 g/cm³ en moyenne dans la colonne de mercure qui équilibre 1 atmosphère. Dans la détermination pratique de l'atmosphère normale, le Comité International des Poids et Mesures recommande que la valeur de la gravité locale soit exprimée dans le système de Potsdam, jusqu'à ce qu'il sanctionne l'emploi d'un autre système.

Dans les paragraphes suivants concernant les points d'ébullition de l'oxygène, de l'eau et du soufre, les formules qui fournissent les températures d'équilibre t_p sont données sous forme de polynômes en fonction de $\left(\frac{p}{p_0} - 1\right)$, où p est la pression d'ébullition et p_0 la pression de 1 atmosphère normale. La limite d'exactitude des formules est indiquée pour un intervalle de pression donné. En pratique, les erreurs dues à l'emploi de ces formules sont inférieures à celles qui résultent de l'instabilité des systèmes ouverts à l'atmosphère. Une plus grande stabilité et une exactitude accrue peuvent être obtenues dans les systèmes fermés, maintenus à une pression constante voisine de 1 atmosphère à quelques millièmes près; dans ce cas, seul le premier terme en $\left(\frac{p}{p_0} - 1\right)$ des polynômes est nécessaire.

4. Point zéro de l'échelle et point triple de l'eau :

a. *Point zéro de l'échelle.* — Le point zéro de l'Échelle Internationale de Température Celsius est défini comme étant la température inférieure de 0,01 degré exactement à celle du point triple de l'eau. Les calculs montrent que la température de l'ancien « point de fusion de la glace », défini comme étant la température d'équilibre entre la glace et l'eau saturée d'air sous une pression de 1 atmosphère normale, est 0° C à 0,000 1 degré près. Ainsi, dans bien des cas, la température 0° C peut-elle être réalisée avec une précision suffisante en utilisant un mélange de glace finement divisée et d'eau saturée d'air à 0° C dans un vase bien isolé, tel qu'un vase de Dewar.

Pour réaliser cette température à mieux que 0,000 2 degré, il est nécessaire d'observer quelques précautions particulières concernant la pureté de la glace et de l'eau, la saturation de l'eau à 0° C avec de l'air non contaminé, et l'effet de la pression. On peut calculer l'effet de la pression par la formule

$$t = 0,01 \left(1 - \frac{p}{p_0}\right) - 0,7 \cdot 10^{-6} h,$$

dans laquelle t est la température d'équilibre, p la pression atmosphérique ambiante, p_0 la pression de 1 atmosphère normale, et h la profondeur en millimètres au-dessous de la surface de l'eau.

b. *Point triple de l'eau.* — La température du point triple de l'eau a été réalisée dans des ampoules de verre scellées ne contenant que de l'eau d'une grande pureté; ces ampoules présentent un puits rentrant axial pour les thermomètres. Dans de telles ampoules, la température du point triple est obtenue où de la glace est en équilibre avec une surface liquide-vapeur. A une profondeur h (en millimètres) au-dessous de la surface

liquide-vapeur, la température d'équilibre entre la glace et l'eau liquide est donnée par la formule

$$t = 0,01 - 0,7 \cdot 10^{-6} h.$$

La méthode recommandée pour préparer une ampoule à point triple, consiste à former d'abord autour du puits une couche épaisse de glace par un refroidissement de l'intérieur du puits, puis à faire fondre une partie suffisante de cette couche de glace, par l'intérieur du puits également, pour produire une nouvelle surface de contact eau-glace au voisinage du puits; l'eau à cette surface de contact a ainsi été purifiée par congélation fractionnée. Une ampoule préparée de cette façon est capable de maintenir une température constante à 0,000 1 degré près pendant plusieurs jours, si elle est conservée entièrement immergée dans un bain de glace. Lorsque des ampoules d'origines diverses ont été comparées, aucune différence supérieure à 0,000 2 degré n'a été constatée.

L'eau provenant de la plupart des sources naturelles (eau normale) contient environ 0,014 8 mole pour cent de deutérium, 0,20 mole pour cent de ^{18}O et 0,04 mole pour cent de ^{17}O . Des variations autour de ces pourcentages, pouvant atteindre 0,001 5 mole pour cent, ont été observées pour le deutérium contenu dans l'eau naturelle. Un accroissement de 0,001 mole pour cent du deutérium contenu dans l'eau correspond à un accroissement de 0,000 04 degré de la température du point triple. L'eau des rivières qui prennent leurs sources dans la zone sous le vent de régions montagneuses ou à la base de glaciers permanents peut contenir une quantité de deutérium inférieure à la normale, tandis que l'eau de surface de grands lacs peut en contenir une quantité supérieure à la normale.

La composition isotopique à la surface de contact eau-glace dans les ampoules à point triple dépend aussi des différences naturelles dans la proportion des isotopes de l'oxygène, du procédé de distillation de l'eau et de la technique de congélation. L'influence de ces compositions isotopiques diverses sur la température réalisée dans les ampoules à point triple est probablement suffisamment faible pour être négligée, mais jusqu'ici son importance pratique n'a pas été établie.

5. *Point d'ébullition de l'oxygène.* — La température d'équilibre entre l'oxygène liquide et sa vapeur est habituellement réalisée par la méthode statique. La bobine de platine du thermomètre étalon et l'oxygène liquide dans son récipient sont portés à la même température dans un bloc de métal placé dans un cryostat convenable. Le bloc de métal est généralement immergé dans un bain bien agité d'oxygène liquide ouvert à l'atmosphère, mais une plus grande stabilité a pu être obtenue en enfermant le bloc de métal dans une enceinte vide d'air maintenue à une température uniforme voisine de celle du point d'ébullition de l'oxygène. La tension de vapeur de l'oxygène est transmise par un tube relié extérieurement à un manomètre; ce tube doit être, sur toute sa longueur, à une température supérieure à la température de saturation de l'oxygène pur.

L'obtention de la température d'équilibre peut être contrôlée par les critères suivants : la température observée, ramenée à une pression constante correspondant à celle de la surface libre de l'oxygène, doit être indépendante de petites variations de la profondeur d'immersion du thermomètre dans le bloc de métal, du rapport du volume d'oxygène liquide au

volume de vapeur d'oxygène, et de petites variations de la température de l'enveloppe.

La température d'équilibre t_p , correspondant à une pression p à la surface de l'oxygène liquide, peut être calculée avec une exactitude de quelques millièmes de degré dans le domaine compris entre $p = 660$ et $p = 860$ mm Hg au moyen de la formule

$$t_p = -182,97 + 9,530 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right) - 3,72 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^2 + 2,2 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^3.$$

6. *Point d'ébullition de l'eau.* — La température d'équilibre entre l'eau liquide et sa vapeur est habituellement réalisée par la méthode dynamique, le thermomètre étant placé dans la vapeur saturée. Des systèmes ouverts ont été utilisés autrefois pour la réalisation du point d'ébullition de l'eau mais, pour les étalonnages précis, il est préférable d'utiliser des systèmes fermés dans lesquels la chaudière et le manomètre sont reliés à un manostat rempli d'hélium.

La chaudière doit être construite de façon à éviter toute contamination de la vapeur. Le thermomètre doit être protégé du rayonnement émis par les corps qui sont à des températures différentes de la température de saturation.

L'obtention de la température d'équilibre peut être contrôlée par les critères suivants : la température observée, ramenée à une pression constante, doit être indépendante de l'eau utilisée, du temps écoulé, des variations dans le débit de chaleur fourni au liquide, et de la profondeur d'immersion du thermomètre.

La température d'équilibre t_p , correspondant à la pression p , peut être calculée avec une exactitude de 0,001 degré dans le domaine compris entre $p = 660$ et $p = 860$ mm Hg au moyen de la formule

$$t_p = 100 + 28,012 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right) - 11,64 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^2 + 7,1 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^3.$$

Une modification de la proportion de deutérium dans l'eau produit une variation de la température d'ébullition de l'eau dans le même sens que pour le point triple, mais environ trois fois plus faible.

7. *Point d'ébullition du soufre.* — La température d'équilibre entre le soufre liquide et sa vapeur est habituellement réalisée par la méthode dynamique, dans une chaudière en aluminium analogue par sa forme à celle qui est utilisée pour le point d'ébullition de l'eau; une protection supplémentaire contre les effets de rayonnement, et de plus grands espaces pour la libre circulation de la vapeur sont toutefois nécessaires.

On a signalé que l'addition au soufre de 0,1 pour cent d'arsenic, puis de 0,1 pour cent de sélénium, augmente le point d'ébullition normal de 0,02 degré, puis de 0,07 degré. Ces éléments se trouvent normalement dans le soufre d'origine volcanique, mais non dans celui de la région du Golfe du Mexique. Le soufre commercial contient des impuretés organiques qui se décomposent lentement et libèrent du carbone durant l'ébullition du soufre; ce carbone est probablement sans influence sur la température d'ébullition mais, pour des étalonnages de haute précision, il est recommandé d'éliminer les matières organiques et le carbone.

Les critères pour contrôler que le point d'ébullition du soufre a été réalisé

correctement sont similaires à ceux du point d'ébullition de l'eau, sauf qu'il peut être nécessaire d'attendre plusieurs heures pour obtenir une température constante.

La température d'équilibre t_p correspondant à une pression p , peut être calculée avec une exactitude de 0,001 degré environ dans le domaine compris entre $p = 660$ et $p = 820$ mm Hg au moyen de la formule

$$t_p = 444,6 + 69,010 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right) - 27,48 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^2 + 19,14 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^3.$$

8. *Points de solidification de l'argent et de l'or.* — La température d'équilibre entre l'argent solide et liquide, ou entre l'or solide et liquide, a été réalisée dans des creusets couverts, soit en graphite artificiel de grande pureté, soit en céramique, soit en silice vitreuse. On doit tenir compte pour les dimensions des creusets de la forte augmentation de volume des métaux durant la fusion; leur profondeur doit être suffisante pour éliminer l'influence de la conduction thermique le long des fils du thermocouple. L'argent doit être protégé contre l'oxygène lorsqu'il est en fusion.

Le creuset et son contenu doivent être portés à une température uniforme, supérieure de quelques degrés au point de fusion du métal, puis refroidis lentement. Un thermocouple, monté dans un tube protecteur de porcelaine ou de toute autre matière réfractaire convenable, muni d'isolateurs qui séparent les deux fils, est immergé dans le métal fondu qu'on laisse ensuite se solidifier.

L'obtention de la température d'équilibre peut être contrôlée par les critères suivants : la force électromotrice du thermocouple doit être indépendante de petites variations de la profondeur d'immersion au cours de solidifications successives, et elle doit demeurer pratiquement constante durant au moins cinq minutes au cours d'une même solidification.

Dans le domaine de l'Échelle situé au-dessus de 1063° C, où l'on utilise la formule de Planck, le creuset servant au point de solidification de l'or doit être modifié de façon à constituer un corps noir à la température de solidification de l'or.

9. *Point de solidification du zinc.* — Des températures très reproductibles, étroitement liées à celles que donne le liquidus d'un alliage, ont été réalisées à l'aide du palier observé dans les courbes de température au cours de la congélation lente du zinc de très grande pureté (99,999 pour cent en poids).

La fusion et la congélation du zinc étaient produites dans des creusets de graphite artificiel très pur (99,999 pour cent en poids) munis d'un puits axial pour le thermomètre; ces creusets, d'un diamètre d'environ 5 cm et d'une profondeur suffisante pour éliminer l'influence de la conduction thermique le long des fils du thermomètre, étaient chauffés dans un simple four à bloc métallique.

Au début du refroidissement, quand le solide commençait à se former sur la paroi du creuset, le thermomètre était enlevé, refroidi, puis replacé dans son puits de façon à produire un mince manchon de zinc solide autour du puits. La température correspondant au palier était celle de l'équilibre entre le zinc liquide et ce manchon solide, pendant que la congélation se poursuivait lentement de l'extérieur du creuset vers l'intérieur. On préfère opérer en atmosphère inerte afin d'empêcher l'oxydation du graphite et du zinc; on n'a cependant pas pu mettre en évidence une influence, sur les

températures de palier, de la présence d'oxyde de zinc dans le métal en fusion, même après un chauffage prolongé à l'air. On a observé que la température de palier augmentait de 0,004 3 degré par atmosphère.

Un critère pour contrôler que la pureté d'un échantillon de zinc est satisfaisante est que son intervalle de fusion ne soit pas supérieur à 0,001 degré environ. Des échantillons de zinc de cette pureté élevée, provenant de différents pays, ont donné des températures de palier pratiquement identiques (à 0,000 2 degré près). Des échantillons présentant des intervalles de fusion de 0,01 degré environ ont donné des températures de palier plus basses de 0,000 4 à 0,001 6 degré.

IV. RENSEIGNEMENTS SUPPLÉMENTAIRES.

1. *Formules résistance-température.* — La formule d'interpolation pour l'intervalle de température entre 0° C et 630,5° C, telle qu'elle est donnée dans la définition de l'Échelle (paragraphe II. a)

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2),$$

peut être écrite sous la forme de Callendar

$$t = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{R_t}{R_0} - 1 \right) + \delta \left(\frac{t}{100} - 1 \right) \frac{t}{100},$$

dans laquelle

$$\alpha = \frac{1}{100} \left(\frac{R_{100}}{R_0} - 1 \right).$$

Les relations entre les coefficients sont :

$$\begin{aligned} A &= \alpha \left(1 + \frac{\delta}{100} \right), & \alpha &= A + 100B, \\ B &= -\frac{\alpha\delta}{100^2}, & \delta &= -\frac{100^2 B}{A + 100B}. \end{aligned}$$

La formule d'interpolation pour l'intervalle entre 0° C et le point d'ébullition de l'oxygène, telle qu'elle est donnée dans la définition de l'Échelle (paragraphe II. b)

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

peut être écrite sous la forme de Callendar-Van Dusen

$$t = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{R_t}{R_0} - 1 \right) + \delta \left(\frac{t}{100} - 1 \right) \frac{t}{100} + \beta \left(\frac{t}{100} - 1 \right) \left(\frac{t}{100} \right)^3.$$

Les relations entre A, B et α , δ sont les mêmes que ci-dessus; les autres relations sont

$$C = -\frac{\alpha\beta}{100^4}, \quad \beta = -\frac{100^4 C}{A + 100B}.$$

2. *Points fixes secondaires.* — En plus des six points fixes de définition de l'Échelle donnés au tableau I, on peut disposer d'autres points de référence. Quelques-uns de ces points, ainsi que leur température dans l'Échelle Internationale de Température de 1948, sont donnés dans le tableau II.

Sauf pour les points triples, chaque température est celle d'un système en équilibre sous la pression de 1 atmosphère normale. Les formules donnant la variation de la température avec la pression sont destinées à être utilisées dans le domaine qui s'étend de $p = 680$ à $p = 780$ mm Hg.

TABLEAU II.

*Points fixes secondaires sous la pression de 1 atmosphère normale
(sauf pour les points triples).*

Le dernier chiffre de chaque température peut être incertain.

	Température °C (Int. 1948).
Température d'équilibre entre l'anhydride carbonique solide et sa vapeur.....	— 78,5
$t_p = -78,5 + 12,12 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right) - 6,4 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^2$	
Température de solidification du mercure.....	— 38,87
Température d'équilibre entre la glace et l'eau saturée d'air...	0,000 1
Température du point triple du phénoxybenzène (oxyde de diphenyle).....	26,877
Température de transition du sulfate de sodium décahydraté.....	32,38
Température du point triple de l'acide benzoïque.....	122,362
Température de solidification de l'indium.....	156,612
Température d'équilibre entre le naphthalène et sa vapeur....	218,0
$t_p = 218,0 + 44,4 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right) - 19 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^2$	
Température de solidification de l'étain.....	231,91
Température d'équilibre entre le benzophénone et sa vapeur....	305,9
$t_p = 305,9 + 48,8 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right) - 21 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^2$	
Température de solidification du cadmium.....	321,033
Température de solidification du plomb.....	327,3
Température d'équilibre entre le mercure et sa vapeur.....	356,58
$t_p = 356,58 + 55,552 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right) - 23,03 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^2 + 14,0 \left(\frac{p}{p_0} - 1 \right)^3$	
Température de solidification du zinc.....	419,504
Température de solidification de l'antimoine.....	630,5
Température de solidification de l'aluminium.....	660,1
Température de solidification du cuivre en atmosphère réductrice.....	1083
Température de solidification du nickel.....	1453
Température de solidification du cobalt.....	1492
Température de solidification du palladium.....	1552
Température de solidification du platine.....	1769
Température de solidification du rhodium.....	1960
Température de solidification de l'iridium.....	2443
Température de fusion du tungstène.....	3380

3. *Relation entre l'Échelle Internationale de Température et l'Échelle thermodynamique.* — Quand l'Échelle Internationale de Température fut adoptée en 1927, elle était en accord avec l'échelle thermodynamique aussi étroitement que les connaissances de l'époque permettaient de le vérifier. On a toutefois reconnu que des recherches ultérieures devraient accroître nos connaissances sur les différences réelles entre les valeurs des températures dans les deux échelles. Quand on désire connaître la valeur d'une température dans l'échelle thermodynamique, le procédé pratique consiste à obtenir la température dans l'Échelle Internationale et à la convertir ensuite dans l'échelle thermodynamique en ajoutant la différence appropriée entre les échelles. Ces différences, cependant, ont dû être déterminées expérimentalement; ce sont des expériences difficiles à faire avec exactitude, les différences étant petites par rapport aux valeurs absolues des températures.

De temps en temps, des chercheurs ont publié les différences qu'ils ont trouvées dans diverses régions de l'Échelle. Quelques-unes d'entre elles sont données plus loin pour montrer l'état actuel de nos connaissances sur l'écart entre les deux échelles. Les valeurs de ces différences n'ont pas fait l'objet d'un accord international, de sorte qu'elles ne figurent pas dans les recommandations.

Compte tenu des incertitudes sur ces différences, il semble préférable de ne pas modifier la valeur des températures dans l'Échelle Internationale et de continuer à parfaire nos connaissances sur les différences entre les échelles. On peut, si on le désire, améliorer les moyens de détermination des températures dans l'Échelle Internationale, sans changer de façon appréciable la valeur des températures. Cette manière de faire évitera la confusion qui résulterait de changements trop fréquents de la valeur des températures.

Dans l'intervalle entre 0° C et le point d'ébullition du soufre, des comparaisons entre deux thermomètres à azote et des thermomètres à résistance étalons ont été effectuées par le Massachusetts Institute of Technology (1939). Les différences trouvées entre la température t_{1h} (1954) et la température t (Int. 1948) s'expriment par la formule

$$t_{1h}(1954) - t(\text{Int. } 1948) = \frac{t}{100} \left[-0,0060 + \left(\frac{t}{100} - 1 \right) (0,04106 - 7,363 \cdot 10^{-5} t) \right].$$

Cette relation donne 99,994° C (therm.) pour le point d'ébullition de l'eau et 444,70° C (therm.) pour le point d'ébullition du soufre. Les résultats obtenus avec les deux thermomètres à gaz différaient de 0,005 degré au point d'ébullition de l'eau et de 0,05 degré au point d'ébullition du soufre.

Dans l'intervalle entre le point d'ébullition de l'oxygène et 0° C, des recherches faites à la Physikalisch-Technische Reichsanstalt (1932) et à l'Université de Leyde (1935) ont donné un groupe de valeurs indiquant que les différences $t_{1h} - t$ ont un maximum de + 0,04 degré environ au voisinage de - 80° C. Au-dessous de - 100° C, quelques-unes des différences publiées sont de signes contraires. Ces différences sont de l'ordre de grandeur des incertitudes possibles des mesures au thermomètre à gaz. Des recherches faites à la Pennsylvania State University (1953) ont donné la valeur - 183,00° C (therm. 1954) pour le point d'ébullition de l'oxygène.

L'Échelle Internationale de Température n'est pas définie au-dessous du point d'ébullition de l'oxygène.

Dans l'intervalle entre $630,5^{\circ}\text{C}$ et le point de solidification de l'or, des résultats du Tokyo Institute of Technology (1956) ont donné les valeurs $961,28^{\circ}\text{C}$ (therm.) pour le point de solidification de l'argent et $1063,69^{\circ}\text{C}$ (therm.) pour le point de solidification de l'or. Des résultats de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt (1957) ont donné pour ce dernier point la valeur $1064,76^{\circ}\text{C}$ (therm.).

Dans le domaine situé au-dessus du point de solidification de l'or, on utilise la formule de Planck. Cette formule est conforme à l'échelle thermodynamique et, de ce fait, devrait donner la vraie valeur des températures Kelvin si l'on connaissait la valeur correcte de la température Kelvin du point de solidification de l'or et de la constante C_2 .

Une analyse des variances des valeurs des constantes atomiques, faite au California Institute of Technology en 1955, donnait la valeur $1,438\ 88\text{ cm. degré}$ pour C_2 . Une étude analogue faite à la Johns Hopkins University en 1957 donnait la valeur $1,438\ 86\text{ cm. degré}$.

RECUIIT DES FILS DES THERMOCOUPLES ÉTALONS

Par K. OKADA et H. SATONE

(Traduction)

On stabilise la force électromotrice d'un thermocouple par recuit des fils qui le composent. Cependant, la température de recuit ne doit pas dépasser une certaine limite si l'on veut éviter un comportement anormal du thermocouple. Pour déterminer la température de recuit optimum, on a observé l'évolution de la force électromotrice à diverses températures. Le fil à l'essai, suspendu horizontalement dans l'air, était chauffé en courant alternatif sur toute sa longueur; la température du fil était observée à l'aide d'un pyromètre optique, en prenant pour le pouvoir émissif du platine 0,30 et pour celui du rhodium 0,27.

Un fil de platine, recuit à 1000° C pendant cinq minutes pour supprimer les contraintes mécaniques, était soudé avec un fil de platine de référence déjà stabilisé; la force électromotrice de ce couple était mesurée à plusieurs températures échelonnées de 200 en 200 degrés environ. Le couple était ensuite soumis à un chauffage prolongé à des températures fixées par avance; on mesurait la force électromotrice de temps en temps, le chauffage étant provisoirement interrompu durant la mesure. La différence entre la force électromotrice ainsi obtenue et celle qui était mesurée initialement représente le changement de la force électromotrice.

Les figures 1, 2 et 3 montrent comment évolue la force électromotrice en fonction de la durée d'un chauffage prolongé à 1200, 1400 et 1600° C; elle décroît rapidement au cours des dix premières minutes, se modifie de façon compliquée dans l'heure qui suit, et devient finalement très stable.

On a trouvé qu'un fil de platine de haute qualité se stabilisait après un recuit de 1 heure à une température comprise entre 1200 et 1600° C.

Des observations analogues ont été effectuées sur plusieurs fils de platine rhodié à 10 %. Les résultats, obtenus pour des chauffes prolongées à 1000, 1200, 1400, 1500, 1550 et 1600° C, sont donnés aux figures 4 à 9. Pour des températures de recuit inférieures à 1500° C, l'augmentation de la force électromotrice est rapide au cours de la première heure, puis progressive; plus

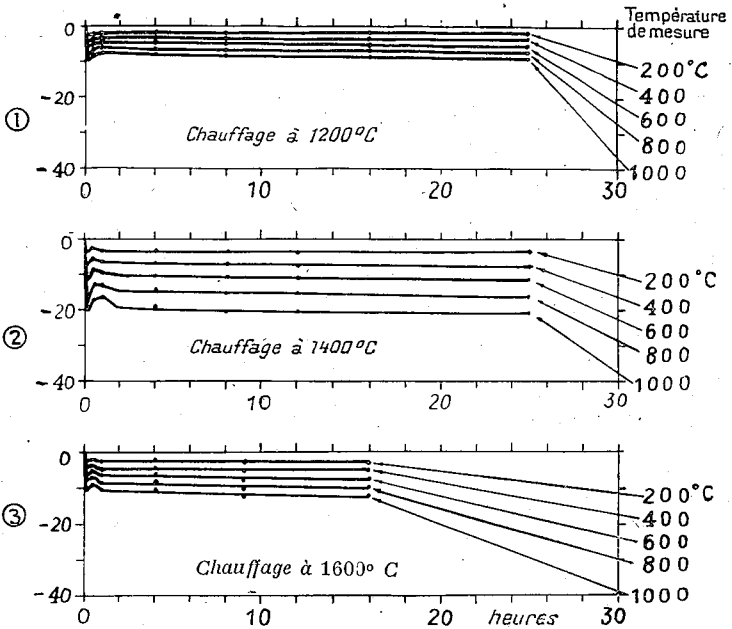
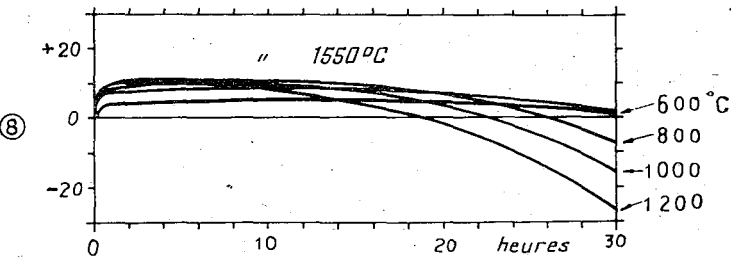
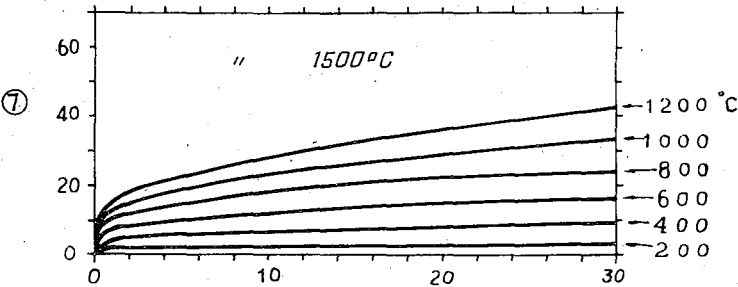
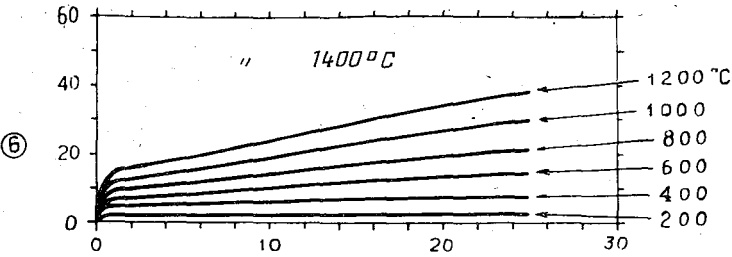
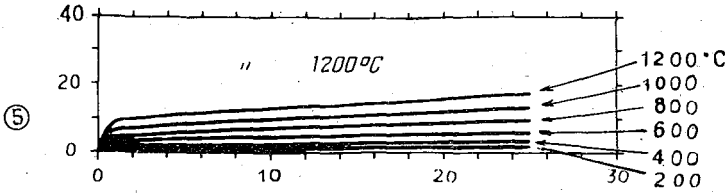
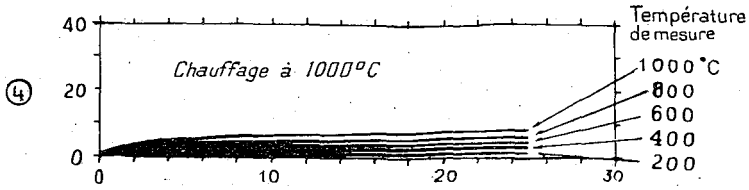


Fig. 1 à 3. — Changement de la force électromotrice d'un fil de platine en fonction de la durée d'un chauffage prolongé.
En abscisses : durée du chauffage, en heures.
En ordonnées : variation de la force électromotrice, en μV .

la température de recuit est élevée, plus l'augmentation est grande. Pour un recuit à 1550° C, la force électromotrice croît rapidement au cours des 30 premières minutes, demeure presque constante pendant les 10 heures qui suivent, puis diminue très lentement. Pour un recuit supérieur à 1600° C, la force électromotrice tombe brusquement; la cause en est l'évaporation du rhodium, phénomène qui apparaît dès 1550° C.

Pour mettre en évidence l'influence d'un recuit de 1 heure à 1450° C, on a fait des observations au cours d'une chauffe prolongée à 1100° C sur un fil ainsi traité (*fig. 10*). Les courbes des figures 10, 5 et 4, correspondant à la température de mesure de 1000° C, ont été tracées sur un même graphique; ce sont



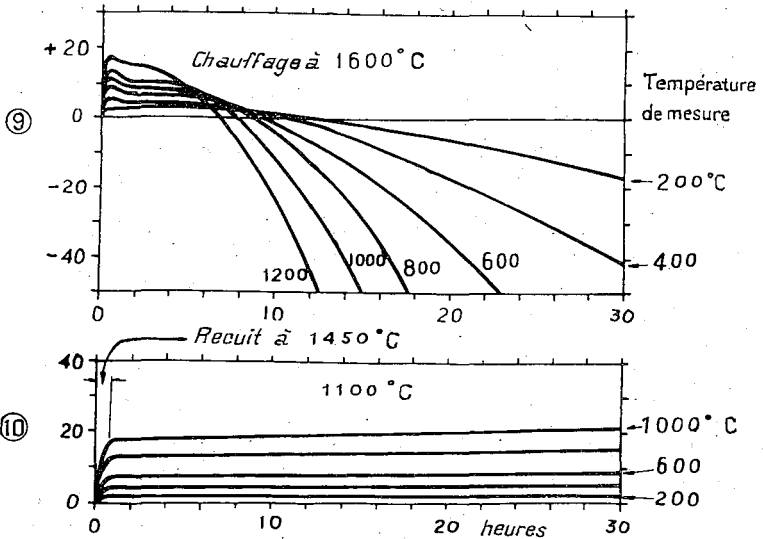


Fig. 4 à 10. — Changement de la force électromotrice d'un fil de platine rhodié à 10 % en fonction de la durée d'un chauffage prolongé.

En abscisses : durée du chauffage, en heures.

En ordonnées : variation de la force électromotrice, en μV .

respectivement les courbes A, B, C de la figure 11; la courbe en pointillé D, correspondant à une température de chauffe de 1100° C, a été obtenue par interpolation. En comparant A et D, on voit que la stabilité la meilleure dans l'intervalle de 1 à 16 heures correspond à la courbe A.

Les résultats obtenus avec un fil de platine rhodié à 10 % d'une autre origine sont donnés aux figures 12 et 13. L'évolution de la force électromotrice au cours d'un chauffage à 1100° C était lente; mais, après cinq heures d'un tel chauffage, quand on portait la température à 1450° C, on observait une brusque augmentation, comme le montre la figure 12. Toutefois, avec le fil d'abord recuit à 1450° C durant 1 heure, on n'observait plus cette discontinuité marquée lors du même passage à 1450° C (fig. 13). Les résultats des figures 11, 12 et 13 confirment que le recuit à 1450° C est préférable au recuit à 1100° C.

En résumé, les conclusions de notre étude sont les suivantes :

1° La stabilité est meilleure après un recuit à 1450° C qu'après un recuit à 1100° C;

2° 1500° C semble être la température maximum de recuit;

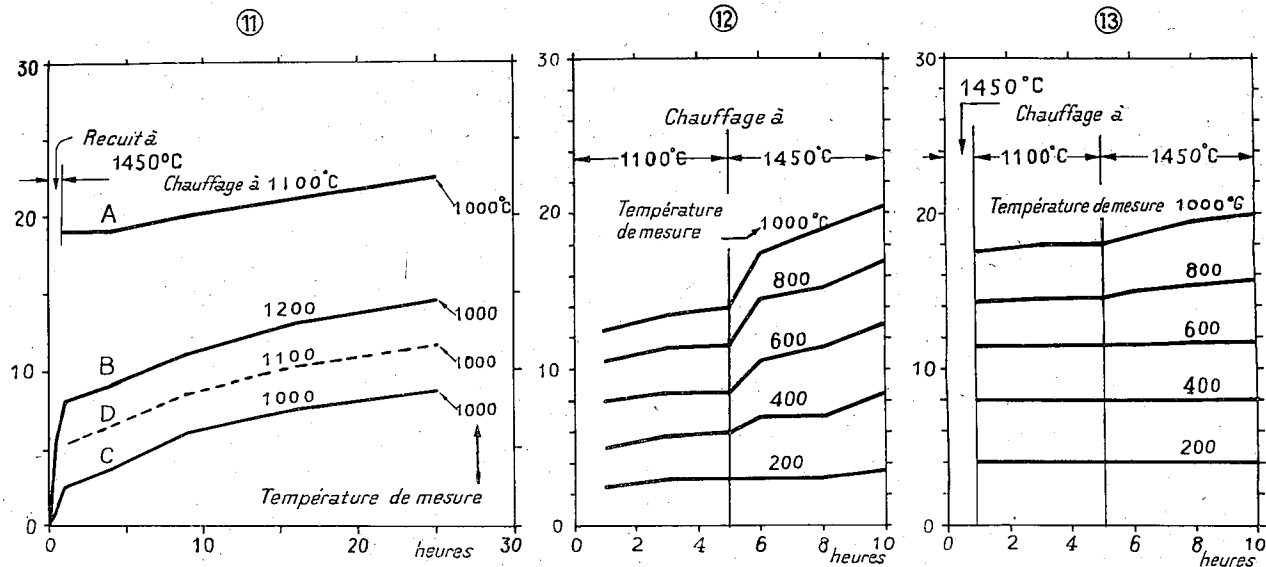


Fig. 11 à 13. — Comparaison des influences du recuit à 1100 et à 1450°C d'un fil de platine rhodié à 10 %.

En abscisses : durée du chauffage, en heures.

En ordonnées : variation de la force électromotrice, en µV.

3° La limite supérieure des températures mesurables est 1550° C. Quand le fil est recuit à cette température, sa stabilité reste encore convenable pendant les dix heures qui suivent.

(15 mai 1958)

PROJET D'UN BAROMÈTRE
A MERCURE INTERFÉRENTIEL

Par J. TERRIEN

L'observation interférentielle des surfaces de mercure d'un baromètre est peu séduisante à première vue, pour deux raisons : elle impose une élimination difficile des ondes superficielles, et sa précision, de l'ordre de 0,1 à 0,01 μ , est plus élevée qu'il n'est nécessaire.

Dans notre projet, les interférences sont produites en lumière blanche; lorsqu'une certaine différence de marche est inférieure à quelques microns, des franges deviennent visibles; on se contente de constater leur présence, sans pointer leur position, et une agitation résiduelle n'est pas gênante. Lorsque l'égalité des trajets optiques est ainsi constatée, la hauteur barométrique est le double de la distance de deux miroirs de verre. On mesure alors la distance de ces deux miroirs; cette opération est plus facile que la mesure de la distance de deux niveaux de mercure, et nous n'avons pas encore choisi parmi les méthodes classiques, interférentielles ou autres, qui s'offrent pour cette mesure.

Le schéma optique des faisceaux lumineux qui frappent les surfaces de mercure est dessiné à la figure. Le miroir séparateur semi-transparent S et le miroir M sont horizontaux. Les franges en lumière blanche apparaissent lorsque B', symétrique de la surface de mercure supérieure B par rapport à M, et A', symétrique de la surface inférieure A par rapport à S, sont très voisins; les franges se produisent dans la mince couche d'air entre A' et B'.

La hauteur barométrique est la distance verticale $h = AB$ comptée positivement de bas en haut. Supposons A' et B' en coïncidence exacte. Algébriquement,

$$\overline{AB} = \overline{AS} + \overline{SM} + \overline{MB}.$$

Or,

$$\overline{SM} = \overline{SB'} + \overline{B'M} = \overline{AS} + \overline{MB}.$$

Donc,

$$\overline{AB} = 2 \overline{SM}.$$

Ce résultat prouve que si S et M sont horizontaux et si des franges en lumière blanche sont visibles, la hauteur barométrique

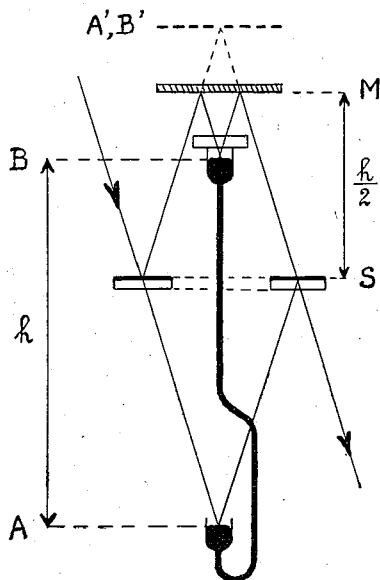


Fig. 1.

est $2 \overline{SM}$, quelle que soit la hauteur des surfaces de mercure par rapport à l'ensemble des miroirs S et M.

Bien entendu, les épaisseurs de verre traversées par les deux faisceaux doivent se compenser; c'est pourquoi la lame de fermeture de la chambre barométrique supérieure et la lame séparatrice ont la même épaisseur. De plus, une petite correction de quelques microns devra tenir compte des indices de réfraction différents dans le vide et dans l'air.

Dans un premier essai expérimental, où les surfaces de mercure étaient remplacées par des miroirs, on a produit les franges en lumière blanche par variation de la distance SM; leur comportement a été conforme aux prévisions.

Dans un second essai, deux bains de mercure ont été placés à 500 mm l'un au-dessus de l'autre sur un cadre suspendu à des ressorts, et l'on a obtenu des franges d'interférence en lumière

monochromatique, produites conformément au schéma figuré.

Les vibrations des surfaces de mercure ont été atténuées par une suspension à ressorts analogue à celle que M. Hamy a réalisée à l'Observatoire de Paris (1); dans la suspension que nous avons utilisée, trois ressorts à boudin verticaux s'allongent d'environ 1 m sous la charge des objets à soustraire aux vibrations. Avec des bains de mercure ainsi suspendus, les franges d'interférence sont visibles, mais s'agitent encore d'environ 0,2 à 0,5 interfrange. Nous essaierons d'améliorer leur stabilité.

Il semble donc que la réalisation et l'utilisation d'un tel baromètre interférentiel soient possibles. L'appareil serait placé sous une cloche métallique étanche favorisant l'uniformité de température et protégeant la suspension élastique contre les mouvements de l'air. Cette cloche serait reliée à l'atmosphère libre, ou à l'atmosphère des appareils où l'on veut connaître la pression.

Quels sont les principaux avantages de notre projet comparé aux baromètres en usage ?

Lorsque les niveaux de mercure sont mesurés au cathétomètre par un repère et son image sur la surface mercurielle, l'objectif du viseur n'est éclairé que sur sa moitié supérieure, et le faisceau lumineux n'est pas symétrique par rapport à l'axe optique, d'où des erreurs de pointé en présence d'aberrations ou d'un défaut de mise au point. Ce risque n'existe pas dans notre projet.

Un autre avantage est qu'on évite la manœuvre assez longue destinée à soulever le mercure à un niveau déterminé, près d'un repère optique ou d'une électrode de condensateur; nos interférences sont en effet insensibles à un déplacement vertical simultané des deux surfaces.

Nous espérons que ce baromètre à lecture optique, sans électronique, sera précis, rapide et sans erreur systématique.

(15 avril 1958)

Note ajoutée aux épreuves. — Après les essais préliminaires effectués avec ce montage expérimental, nous avons mis au point un autre projet de baromètre interférentiel dont le principe est décrit dans *Revue d'Optique*, 38, 1959, p. 34.

(1) *Comptes Rendus Acad. Sc.*, 125, 1897, p. 760; 136, 1903, p. 990.

Central Inspection Institute of Weights and Measures (Japan)

BAROMÈTRE ÉTALON INTERFÉRENTIEL

Par I. OYAMA, K. KOIZUMI et R. KANEDA

(Traduction)

Au Central Inspection Institute of Weights and Measures, on étudie un baromètre étalon interférentiel depuis mai 1956; un prototype expérimental vient d'être achevé après diverses études préalables.

Le principe, la construction et le mode d'utilisation de ce baromètre, qui peut également servir de manomètre de précision, sont brièvement décrits dans cette Note.

Principe et construction. — Le but essentiel de ce baromètre est la mesure des pressions avec une précision de $\pm 1 \mu\text{Hg}$, sur tout le domaine de 0 à 840 mm Hg. Il se compose essentiellement d'une combinaison de deux interféromètres de Michelson modifiés; le déplacement relatif des deux ménisques de mercure dans le tube en U est comparé au déplacement d'un chariot sur une glissière horizontale, grâce à un système optique convenable.

Le baromètre, schématisé à la figure (1), se compose de deux ensembles de mesure 1 et 2 et d'un tube en U. L'ensemble 1 comprend une lame séparatrice S de grandes dimensions et deux lentilles collimatrices éclairées en lumière blanche par la source L. L'ensemble 2 comprend le dispositif de mesure: un bâti G portant une glissière rectifiée, un microscope à micromètre F fixé sur G, un ensemble de deux miroirs perpendiculaires C fixé également sur G, et un chariot D mobile sur G. Sur le chariot D est fixée une règle étalon E divisée sur 420 mm et deux miroirs A et B; A, orienté vers S, est solidaire de D et correspond au ménisque

(1) Le principe de ce baromètre a fait l'objet d'un brevet japonais du 2 novembre 1956.

supérieur du mercure; B, orienté vers C, peut se déplacer par rapport à D à l'aide de la vis micrométrique H.

Ainsi, quand on déplace D vers S, la distance AS diminue, alors que la distance BCS augmente de la même quantité.

Le tube en U, M, est en acier inoxydable et plonge dans un bain d'eau; il est placé sous S et ses extrémités sont fermées par des lames compensatrices plan-parallèles I_1 et I_2 . La surface

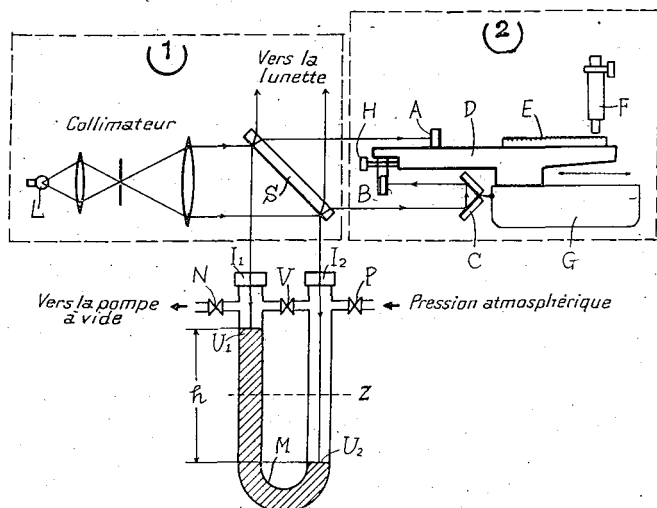


Fig. 1.

interne de M a été soigneusement travaillée de façon que son diamètre soit uniformément de 50 mm. Le robinet N relie U_1 et la pompe à vide, le robinet V, U_1 et U_2 , et le robinet P, U_2 et la pression à mesurer.

Les ensembles 1 et 2 et le tube en U sont montés sur des piliers massifs en béton.

Mode d'utilisation. — 1° N étant fermé et V et P étant ouverts, les deux ménisques U_1 et U_2 sont dans un même plan horizontal Z. On règle les inclinaisons de A et B, puis on déplace D jusqu'à ce que les franges en lumière blanche données par U_1 et A apparaissent; on déplace ensuite B en agissant sur H, jusqu'à ce que les franges données par U_2 , B et C apparaissent; on fait une lecture x_0 sur E à l'aide de F.

2° V étant fermé et N étant ouvert, la différence de niveau h entre les deux ménisques correspond à la pression atmosphérique. On déplace D vers S, d'abord rapidement d'un peu moins de $h/2$, puis lentement jusqu'à ce que des franges deviennent visibles.

Le volume situé au-dessus du mercure dans U_1 n'étant vide d'air que dans la deuxième partie des mesures, et le diamètre intérieur de M n'étant pas rigoureusement uniforme, on ne peut s'attendre nécessairement à l'apparition simultanée des deux systèmes de franges en lumière blanche.

Supposons, par exemple, que les franges de U_1 deviennent visibles les premières et ensuite celles de U_2 ; soient x_1 et x_2 les lectures correspondantes effectuées sur E .

h est alors donné par la relation

$$h = (x_1 - x_0) + (x_2 - x_0) + \Delta x,$$

où Δx est la correction due au vide régnant au-dessus du ménisque supérieur.

Compte tenu des résultats expérimentaux obtenus sur cet appareil, un baromètre étalon interférentiel sera construit en 1959.

(Juin 1958)

BIBLIOGRAPHIE RELATIVE
A L'ÉCHELLE INTERNATIONALE DE TEMPÉRATURE (1).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

- MOSER (H.), High temperature gas thermometry, in *Temperature, its measurement and control in science and industry*, vol. 2, p. 103, Reinhold Publ. Corp., New York, 1955.
- MOSER (H.), OTTO (J.) et THOMAS (W.), Gasthermometrische Messungen bei hohen Temperaturen. I. Neue gasthermometrische Methode, *Z. Phys.*, 147, 1957, p. 59; II. Bestimmung des Goldpunktes, *Ibid.*, p. 76.
- THOMAS (W.), Die zweiten Virialkoeffizienten von Argon, Krypton, Xenon, Stickstoff und Kohlendioxyd im Temperaturbereich von 0 bis 1200° C, *Z. Phys.*, 147, 1957, p. 92.
- MOSER (H.), STILLE (U.) et TINGWALDT (C.), Strahlungskonstanten, Strahlungsäquivalent und optische Temperaturskala, *Optik*, 14, 1957, p. 291.

Deutsches Amt für Mass und Gewicht

- WAGENBRETH (H.), Ueber die schwarze Temperatur der Tauchstrahler beim Goldpunkt, *ce volume*, Annexe T 16, p. T 123.

National Bureau of Standards

- STIMSON (H. F.), Heat units and temperature scales for calorimetry, *Amer. J. Physics*, 23, 1955, p. 614.
- STIMSON (H. F.), Precision resistance thermometry and fixed points, in *Temperature, its measurement and control in science and industry*, vol. 2, p. 141, Reinhold Publ. Corp., New York, 1955.

National Research Council

- DAUPHINEE (T. M.), An apparatus for comparison of thermocouples, *Can. J. Physics*, 33, 1955, p. 275.

(1) Suite de la bibliographie publiée dans les *Procès-Verbaux C. I. P. M.*, 24, 1954, p. T 190.

PRESTON-THOMAS (H.), The zinc point as a thermometric fixed point, in *Temperature, its measurement and control in science and industry*, vol. 2, p. 169, Reinhold, New York, 1955.

MCLAREN (E. H.), The freezing points of high purity metals as precision temperature standards.

- I. Precision measurements with standard resistance thermometers, *Can. J. Physics*, 35, 1957, p. 78.
- II. An investigation of the freezing temperatures of zinc, cadmium and tin, *Ibid.*, p. 1086.
- III. Thermal analyses on eight grades of zinc with purities greater than 99,99 + %, *Ibid.*, 36, 1958, p. 585.
- IV. Indium : Thermal analyses on three grades of cadmium, *Ibid.*, p. 1131.

BERRY (R. J.), The preparation of pure sulphur for physical measurements, *J. Sc. Instr.*, 35, 1958, p. 223.

BERRY (R. J.), The reproducibility of the steam point, *Can. J. Physics*, 36, 1958, p. 740.

Tokyo Institute of Technology

OISHI (J.), AWANO (M.) et MOCHIZUKI (T.), New determination of the temperature of gold and silver points on the thermodynamic temperature scale, *J. Phys. Soc. Japan*, 11, 1956, p. 311.

Central Inspection Institute of Weights and Measures

TAKATA (S.) et ICHIKAWA (K.), On the methods of brightness matching, *Report of the C. I. I. W. M.*, 5, n° 4, 1956, p. 362 (en japonais).

TAKATA (S.) et NAGASE (Y.), An improvement of operating circuit of tungsten strip lamps for optical pyrometer standardization, *Ibid.*, 6, n° 2, 1957, p. 441 (en japonais).

YONEDA (R.), NAKAYA (S.), UCHIYAMA (H.) et MIYASATO (M.), On making of triple point cell of water, *Bull. C. I. I. W. M.*, Series n° 2, July 1958, p. 17.

Electrotechnical Laboratory

OKADA (K.) et SATONE (H.), Annealing of standard thermocouple wires, *Bull. E. T. L.*, 22, 1958, p. 531; *ce volume*, Annexe T 24, p. T 211.

Kamerlingh Onnes Laboratorium

VAN DIJK (H.) et DURIEUX (M.), The temperature scale in the liquid helium region, in *Progress in low temperature physics*, vol. II, Edited by C. J. Gorter, North Holland Publ. Co., 1957, p. 431.

VAN DIJK (H.) et DURIEUX (M.), Thermodynamic temperature scale ($T_{1.55}$) in the liquid helium region, *Physica*, 24, 1958, p. 1; *Communic. Leiden*, Suppl. 113.

VAN DIJK (H.) et DURIEUX (M.), On the temperature scale in the liquid ^4He region ($T_{3.2}$), *Physica*, 24, 1958 (sous presse).

- VAN DIJK (H.), Sur l'extension de l'Échelle Internationale de Température au-dessous du point d'ébullition de l'oxygène, *Comm. Leiden*, Suppl. 112.
- VAN DIJK (H.), Sur l'emploi du thermomètre à résistance de platine pour la mesure des basses températures, *Comm. Leiden*, Suppl. 112.
- VAN DIJK (H.), Techniques of magnetic thermometry, *Comm. Leiden*, Suppl. 112.

National Physical Laboratory

- HALL (J. A.), The International Temperature Scale, in *Temperature, its measurement and control in science and industry*, vol. 2, p. 115, Reinhold Publ. Corp., New York, 1955.
- BARBER (C. R.), GRIDLEY (A.) et HALL (J. A.), An improved construction of the Smith bridge, type 3, *J. Sc. Instr.*, 32, 1955, p. 213.
- MOREAU (H.), HALL (J. A.) et LEAVER (V. M.), Mercury-in-quartz thermometers for very high accuracy, *J. Sc. Instr.*, 34, 1957, p. 147.
- VAN DIJK (Sj.), HALL (J. A.) et LEAVER (V. M.), The influence of rate of cooling on the zeros of mercury-in-glass thermometers, *J. Sc. Instr.* 35, 1958, p. 334.
- BARBER (C. R.) et HORSFORD (A.), The freezing point of zinc as a primary point of the International Temperature Scale, *Proc. Roy. Soc.*, A-247, 1958, p. 214.
- HALL (J. A.) et LEAVER (V. M.), The design of mercury thermometers for calorimetry, *J. Sc. Instr.*, 36, 1959, p. 183.

Institut de Métrologie

- PILIPTCHOUK (B. I.), L'échelle de température de D. I. Mendéléev, *Trud. Inst. Metrol. D. I. Mendeleev*, n° 25 (85), 1955, p. 5.
- GORDOV (A. N.) et KIRENKOV (I. I.), Thermomètre à azote à volume constant, *Ibid.*, p. 20.
- GORDOV (A. N.) et KIRENKOV (I. I.), Détermination du coefficient de pression de l'azote, *Ibid.*, p. 31.
- ALIEVA (Ph. Z.), Emploi des thermomètres à résistance pour la reproduction de l'Échelle Internationale de Température dans le domaine 630°-1063° C, *Ibid.*, p. 35.
- ALIEVA (Ph. Z.), Choix de la formule d'interpolation et du système des repères pour la reproduction de l'Échelle Internationale de Température dans l'intervalle de 400 à 1063° C, *Ibid.*, p. 44.
- LAPINA (E. A.), Reproduction de l'Échelle Internationale de Température à l'aide du pyromètre spectral, *Ibid.*, p. 54.
- LAPINA (E. A.), Mesure de la température de couleur à l'aide du pyromètre spectral, *Ibid.*, p. 66.
- GORDOV (A. N.), KIRENKOV (I. I.) et LAPINA (E. A.), Une nouvelle méthode de vérification des pyromètres optiques, *Ibid.*, p. 70.
- KIRENKOV (I. I.), Schéma du pyromètre photoélectrique de couleur à lampe à incandescence, *Ibid.*, p. 75.
- GORDOV (A. N.), Emploi de la théorie de l'échange de chaleur pour l'étude de l'expérience calorimétrique, *Ibid.*, p. 88.
- PILIPTCHOUK (B. I.), Échelle des thermomètres à résistance de platine d'après le rapport des intervalles, *Ibid.*, p. 103.

- PILIPCHOUK (B. I.), Tableaux auxiliaires pour les thermomètres à résistance de platine, *Ibid.*, p. 111.
- ALIEVA (Ph. Z.), Réalisation du point triple de l'eau et étude de sa reproductibilité, *Trud. Inst. Metrol. D. I. Mendeleev*, n° 35 (95), 1958, p. 5.
- OLEINIK (B. N.), Le point triple de l'acide benzoïque comme repère secondaire de l'échelle de température, *Ibid.*, p. 11.
- ALIEVA (Ph. Z.), Recherche sur la reproductibilité de la température de solidification du zinc, *Ibid.*, p. 16.
- GORDOV (A. N.), KIRENKOV (I. I.) et LAPINA (E. A.), Comparaison de lampes en température de couleur par la méthode photoélectrique, *Ibid.*, p. 27.
- PHINKELSTEIN (V. E.), Sur la construction de l'échelle du pyromètre optique dans le domaine des hautes températures, *Ibid.*, p. 36.
- PHINKELSTEIN (V. E.), Méthode de mesure de l'affaiblissement pyrométrique de l'absorbéur utilisé pour l'extension de l'échelle du pyromètre optique dans le domaine des très hautes températures, *Ibid.*, p. 44.
- LAPINA (E. A.), Emploi du radiateur à arc pour la vérification des pyromètres optiques aux températures supérieures à 2 000° C, *Ibid.*, p. 70.
- ERGARDT (N. N.), Quelques résultats sur la stabilité des thermocouples de platine rhodié, *Ibid.*, p. 87.
- KIRENKOV (I. I.), Méthode de réalisation de l'échelle de température de couleur, *Ibid.*, p. 118.
- PROSTIAKOV (V. P.), ALIEVA (Ph. Z.), OLEINIK (B. N.) et DOLGUII (N. Z.), Construction et étalonnage des thermomètres à mercure en verre à graduation équidistante, *Izmeritelnaia Tekhnika*, 1957, n° 2, p. 31.
- ALIEVA (Ph. Z.), Température de solidification de l'alliage eutectique argent-cuivre comme point repère de l'échelle de température, *Ibid.*, 1956, n° 2, p. 23.
- ERGARDT (N. N.), Étude des thermocouples platine-platine rhodié fabriqués avec des matériaux de grande pureté, *Ibid.*, 1956, n° 2, p. 20.
-

TABLES DES MATIÈRES

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

47^e Session (1958)

	Pages.
Liste des Membres du Comité International.....	5
Liste du personnel du Bureau.....	7
Ordre du jour de la session.....	8
Procès-verbal de la première séance, lundi 29 septembre 1958.....	9
Hommage à la mémoire de C. Statescu et M. Chatelain.....	10
Élection de Mr K. S. Krishnan comme Membre du Comité.....	10
RAPPORT DU SECRÉTAIRE DU COMITÉ POUR LA PÉRIODE COMPRISE ENTRE	
LE 1^{er} SEPTEMBRE 1956 ET LE 31 AOÛT 1958.....	11
<i>Convention du Mètre.</i> — (Adhésion de l'Inde. Retrait du Pérou)....	11
<i>Décès.</i> — (C. Statescu; M. Chatelain, Membre honoraire).....	11
<i>Élection.</i> — (Mr K. S. Krishnan).....	11
<i>Comités Consultatifs.</i> — (Sessions tenues en 1957 et 1958).....	12
<i>Coût de la vie.</i> — (Indice de cherté de vie; allocations familiales)...	12
<i>Versements des États.</i> — (Situation. Contributions arriérées du Chili et de l'Uruguay).....	12
<i>Don unique.</i> — (Utilisation des fonds; clôture de ce compte).....	12
<i>Tableau des versements des États</i>	13
<i>Indications financières.</i> — (Actif du Bureau. Situation de la trésorerie).	15
RAPPORT DU DIRECTEUR SUR L'ACTIVITÉ ET LA GESTION DU BUREAU ENTRE	
LE 1^{er} SEPTEMBRE 1956 ET LE 31 AOÛT 1958.....	16
I. <i>Personnel.</i> — (Promotion de H. Moreau comme Chef de Travaux. — Nomination de G. Girard comme Assistant. — Départ de M. Gautier et T. Masui. — Stage de H. Hirayama. — Engagement de J.-M. Chartier).	16
II. <i>Bâtiments.</i> — Grand Pavillon (Réfection du bureau contigu à la Salle des Conférences). — Petit Pavillon (Travaux dans l'atelier de mécanique: maçonnerie, carrelage, peinture, équipement électrique et éclairage. Protection contre l'humidité dans l'appartement de fonction. Réfections dans le logement du gardien). — Observatoire (Aménagement de l'installation de déshumidification des caveaux inférieur et supérieur. Réfection des caveaux et de leurs accès. Remise en état du couloir de la base géodésique; nouvel équipement électrique et éclairage. Cimentage des couloirs de ronde. Aménage-	

	Pages.
ment des salles 2 et 7; réfection du plancher de la salle 5. Enlèvement de tous les instruments de la salle 2 en vue de loger le futur comparateur photoélectrique). — Dépendances (Revêtement de la cour du Pavillon. Construction d'un mur de soutènement dans le jardin potager; montage d'une nouvelle serre).....	16
III. <i>Instruments scientifiques et matériels divers</i>	19
Mètres prototypes (Retraçage de certains Mètres nationaux. — Cession à l'Inde du prototype en platine iridié N° 4 qui appartenait à l'Observatoire de Paris).....	19
Kilogrammes prototypes (Le Kilogramme en platine iridié N° 25, qui appartenait à l'Observatoire de Paris, est devenu la propriété du B. I. P. M., en échange de l'attribution à l'Inde du Kilogramme N° 57).....	19
Comparateurs (Améliorations apportées aux comparateurs normal et Bariquand. — Remontage du comparateur universel à la salle 3 et des machines à mesurer et à diviser à la salle 4. — Installation d'un chauffage électrique d'appoint à régulation automatique dans la salle 4).....	20
Balances (Regroupement et révision).....	21
Base géodésique (Remplacement des poulies).....	21
Électricité (Don par le N. S. L. d'Australie d'un étalon de passage de 1 à 100 Ω . — Étalons de résistance de 1 Ω en métaux purs. — Cuve thermostat pour les éléments-Weston).....	21
Interférométrie (Don par Bausch et Lomb d'un réseau plan de diffraction. — Achat d'un photomultiplicateur Lallemand, d'un cryostat à vide pour lampes à Kr 86 et d'une pompe à vide Edwards. — Lampes à monoéléments. — Construction d'un générateur 100-500 MHz).....	21
Divers (Règle géodésique I 4. — Étuvage des fils géodésiques. — Achat de matériels divers. — Don par le N. P. L. d'une ampoule à point triple de l'eau pour thermomètres à mercure).....	22
IV. <i>Travaux</i>	23
Mètres prototypes (Comparaisons des Mètres du Bureau Nos 13, 19, 26, T3 et T4 entre eux et avec \mathcal{M} . Détermination de divers Mètres nationaux : Nos 1 C, 6 C, 17 C, 19 C, 22 C, 4, 11, 16, 18, 22, 23, 27. Mètre I 1 du Bureau).....	23
Longueurs diverses (Règles Nos 4 028 et 79 [Australie], N° 306 [Canada], N° 426 [Hongrie], N° 48 [B. I. P. M.]. — Étalon de 2 m de longueur réglable. — Étalons à bouts. — Règles et fils géodésiques. — Ruban voyageur de 24 m BIPM N° 2).....	26
Masses et densités (Intercomparaisons des six témoins du Kilogramme international : K1, Nos 7, 8(41), 32, 43 et 47, et détermination des Kilogrammes d'usage du Bureau Nos 9, 25 et 31. — Kilogrammes prototypes N° 40 [Suède] et N° 26 [U. R. S. S.]. — Étalons divers. — Expériences sur des fils de suspension pour les pesées hydrostatiques. — Densité relative du mercure et de l'eau. — Comparaisons internationales de la densité d'un cylindre).....	30
Thermométrie (Thermomètres à mercure en quartz fondu. — Études diverses).....	32

Gravimétrie (Achèvement de la détermination absolue de g au Pavillon de Breteuil; résultat obtenu).....	33
Électricité (Comparaisons internationales. — Étalonnage de l'instrument de passage de 1 à 100 Ω . — Ohms étalons en alliage Au-Cr et en métaux purs [Pt, Hg]. — Étude d'étalons divers)...	34
Photométrie (Comparaisons internationales. Unification des unités. — Étalonnages divers. — Récepteurs photoélectriques).....	39
Interférométrie (Étude des radiations monochromatiques pour la définition du mètre [Hg 198, Kr 86]. — Mesures de longueurs d'onde par rapport à λ Cd rouge. Réduction à l'atome immobile et non perturbé. — Indice de réfraction de l'air. — Plan liquide de référence. — Raie d'absorption de l'iode. — Radiations infrarouges du Kr 86 et du Xe 136. — Calibres à bouts plans. — Manobaromètre interférentiel).	40
Voyages.....	45
Visites et stages.....	46
Divers.....	46
Publications du Bureau.....	47
Publications extérieures.....	47
Liste des Certificats, Notes d'étude, Rapports.....	48
V. Comptes	58
I. Fonds disponibles. — II. Caisse de Retraites. — III. Don unique. —	
IV. Amélioration du matériel scientifique.....	58
Bilan.....	59
Tableaux des recettes et dépenses.....	61
Situation actuelle du Chili et de l'Uruguay. Cas du Pérou débiteur de plusieurs années de contributions.....	63
Remarque sur la situation financière du Bureau International.....	63
Constitution des Commissions Administrative et des Travaux.....	63
Procès-verbal de la deuxième séance, mardi 30 septembre 1958	64
<i>Discussion du Projet de Révision de la Convention du Mètre</i> (Projets présentés. Accord pour une modification limitée de la Convention et de son Règlement Annexé. Discussion sur les articles 7 et 15 (nouveau) de la Convention, et sur les articles 6, 7, 8, 9, 12, 15 et 19 du Règlement).	64
Procès-verbal de la troisième séance, jeudi 2 octobre 1958	69
<i>Discussion du Projet de Révision de la Convention du Mètre (suite)</i> (Amendements aux articles 5 (Convention), 7 et 15 (Règlement) modifiés).	69
<i>Travaux des Comités Consultatifs</i>	71
Définition du Mètre (Recommandation soumise par le Comité Consultatif au Comité International. Échange de vues au sujet de la rédaction des projets de Résolutions à présenter à la Conférence Générale).	71
Définition de la Seconde.....	72
Thermométrie (Recommandation relative à l'« Échelle 'He 1958 ». Suggestion de charger le Comité Consultatif d'organiser des mesures comparatives de pyrométrie optique et de s'occuper des températures très élevées. Proposition de désigner l'Échelle Internationale de Température sous le nom d'« Échelle Pratique ». Les basses tem-	

	Pages.
pératures, inférieures à 90° K, restent pour le moment en dehors du domaine de l'Échelle Internationale).....	73
Procès-verbal de la quatrième séance, vendredi 3 octobre 1958....	75
<i>Travaux des Comités Consultatifs (suite)</i>	75
Définition du Mètre (Approbation de deux projets de Résolutions).	75
Électricité (Périodicité des comparaisons internationales fixée à trois ans; prochaine comparaison en fin 1960).....	76
Photométrie (Accroissement du travail futur du Bureau International. Intérêt d'une coordination des mesures radiométriques).....	77
Extension des activités du Bureau International aux étalons de radioactivité (Exposé de la question. Accord du Comité pour la création d'un nouveau Comité Consultatif s'occupant de la mesure des radiations ionisantes [voir également p. 86]).....	77
RAPPORT DE LA COMMISSION ADMINISTRATIVE (Approbation des comptes. — Proposition de faire examiner chaque année la comptabilité par un expert-comptable. — Personnel du Bureau : état; traitement du Sous-Directeur; recrutement de physiciens qualifiés. — Budget : rapport entre les dépenses « Laboratoire » et « Personnel »; nécessité de prévoir un accroissement du budget du Bureau. — Caisse de Retraites : modification à l'article 5).....	78
Félicitations à Mr Terrien pour ses travaux scientifiques et sa nomination dans l'Ordre de la Légion d'Honneur.....	80
Commentaires sur le Rapport de la Commission Administrative (Questions de l'augmentation des taxes de vérification, du budget et de l'engagement de collaborateurs temporaires. — Application du nouveau Règlement de la Caisse de Retraites. Retraite de Mr Pérard).....	80
La contribution d'entrée dans la Convention du Mètre est fixée à deux annuités.....	81
RAPPORT DE LA COMMISSION DES TRAVAUX (La Commission prend connaissance des travaux effectués dans les domaines suivants : Mètres et Kilogrammes prototypes; fils et rubans géodésiques; thermométrie; électricité; photométrie; détermination absolue de g; interférométrie et comparateur photoélectrique. — Nécessité de l'engagement de plusieurs physiciens qualifiés).....	81
Procès-verbal de la cinquième séance, vendredi 3 octobre 1958....	85
Visite du caveau des Prototypes métriques et des aménagements effectués. Procès-verbal.....	85
Adoption de la Résolution consacrant la création d'un <i>Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Radiations Ionisantes</i> . Désignation de Mr Astin comme Président. La composition de ce Comité sera établie à la suite de consultations par correspondance.....	86
Budget pour 1959 et 1960. Commentaires.....	87
<i>Système International d'Unités. Préfixes</i> (Adoption de l'abréviation SI pour désigner les unités de ce système. Remarques au sujet de certaines « unités supplémentaires » et de leurs symboles adoptés par le Comité en 1956. Adoption des préfixes <i>téra, giga, nano, pico</i>).....	88

	Pages
Comités Consultatifs (Désignation de nouveaux Laboratoires et Membres spécialistes. Dates des prochaines sessions).....	89
Questions diverses (Proposition de publier dans chaque volume des Procès-Verbaux du Comité la liste des Membres des Comités Consultatifs. — Dates des prochaines sessions de la Conférence Générale et du Comité International. — Lieux des réunions. — Diffusion des travaux du Comité).	90
Annexes des Procès-Verbaux des séances de 1958 :	
1. <i>Deuxième Rapport de la Commission pour la Révision de la Convention du Mètre</i> ; par Ch. Volet.....	93
BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES :	
2. <i>Rapport sur les comparaisons des étalons nationaux de résistance électrique (septembre-novembre 1957)</i> ; par G. Leclerc.	101
3. <i>Rapport sur les comparaisons des étalons nationaux de force électromotrice (septembre-novembre 1957)</i> ; par G. Leclerc...	110
4. <i>Résultats d'une enquête sur les avantages et les inconvénients respectifs des fils et des rubans géodésiques</i> ; par A. Bonhoure.	117
5. <i>Fil de suspension pour les pesées hydrostatiques. Préparation et résultats d'emploi</i> ; par A. Bonhoure.....	122
Notices nécrologiques :	
M. A. Chatelain; par G. D. Bourdoun.....	131
C. Stătescu.....	133

COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE

5^e Session (1958)

	Pages.
Liste des Membres.....	T 3
Ordre du Jour.....	6
Procès-verbal de la première séance, vendredi 20 juin 1958.....	7
Comparaison internationale de thermomètres à résistance de platine (Résultats de l'étalonnage à 0 et 109°C de trois thermomètres dans dix Laboratoires).....	7
Échelle du thermomètre à résistance de platine au-dessous de -182,970°C (Possibilité de repérer les températures entre 20 et 90°K au moyen d'un thermomètre à résistance de platine étalonné aux points d'ébullition de O ₂ , H ₂ et au point triple de l'oxygène. Attribution de la valeur 20,38°K au point d'ébullition de H ₂ . Nécessité d'une comparaison internationale de thermomètres à résistance dans le domaine 20-90°K et de nouvelles mesures au thermomètre à gaz au point triple de l'oxygène en vue d'une extension de l'Échelle Internationale de Température)....	8
Mesures au thermomètre à gaz au-dessus de 444,6°C (Résultats obtenus à la P. T. B. pour la température thermodynamique des points de congélation de Au, Ag, Zn, Sb et du point d'ébullition du soufre; désaccord avec les mesures effectuées au Japon. Mesures en cours dans les autres Laboratoires).....	10
Formule d'interpolation du thermocouple Pt/Pt-Rh (Insuffisance de la formule quadratique actuelle, ou de formules plus compliquées, pour raccorder les températures thermodynamiques déterminées au thermomètre à gaz. Intérêt du remplacement du thermocouple par le thermomètre à résistance de platine).....	12
Point de congélation du zinc dans l'Échelle Internationale (Résultats obtenus dans divers Laboratoires; premier échange de vues sur le remplacement du point du soufre par le point du zinc pour la définition de l'Échelle Internationale de Température [voir également p. T 22])...	12
Procès-verbal de la deuxième séance, vendredi 20 juin 1958.....	14
Pyrométrie optique (Résultats de l'étalonnage au pyromètre visuel de deux lampes à ruban de tungstène dans cinq Laboratoires nationaux; poursuite de cette comparaison internationale. Étude théorique du D. A. M. G. sur les corrections dues à l'ouverture d'un corps noir; études de pyrométrie optique objective et subjective effectuées en U. R. S. S.).....	14

	Pages.
Échelle du thermomètre à tension de vapeur de l'hélium (Tables déjà proposées pour la relation entre la température et la tension de vapeur de l'hélium; présentation et adoption d'une nouvelle table).....	T 15
<i>Recommandation</i> relative à l'emploi de l' « Échelle ⁴ He 1958 » entre 0,5 et 5,2°K.....	17
Désignation de l'Échelle Internationale de Température (Échange de vues au sujet du remplacement ou de la suppression du qualificatif « international »).....	17
Révision du texte de l'Échelle Internationale de Température :	
Examen du projet établi par le N. B. S.....	18
<i>Chapitre I</i> : Modifications apportées à l' « Introduction ».....	18
Tableau de désignation et de définition des échelles. Proposition d'adopter des équations aux grandeurs à la place d'équations aux valeurs numériques.....	19
<i>Chapitre II</i> : Définition de l'Échelle.....	20
Procès-verbal de la troisième séance, samedi 21 juin 1958.....	21
Révision du texte de l'Échelle Internationale de Température (<i>suite</i>):	
<i>Chapitre II</i> : Tableau des points fixes de définition; remplacement du point de fusion de la glace par le point triple de l'eau (+ 0,010°C); partage de l'Échelle.....	21
Adoption de la valeur 419,505°C (Int. 1948) pour la température du point de congélation du zinc et discussion sur le remplacement du point d'ébullition du soufre par le point du zinc comme point fixe de définition; maintien du point du soufre avec recommandation d'emploi du point du zinc. Formule de Planck.....	22
<i>Chapitre III</i> : Recuit des thermocouples. Atmosphère normale. Stabilité de la température dans les ampoules à point triple de l'eau. Critères de pureté de Ag et Au; contamination possible de Ag par la silice..	24
<i>Chapitre IV</i> : Tableau des repères secondaires (suppression du point de l'antimoine; remplacement de « température de solidification » par « température d'équilibre entre solide et liquide »; arrondissement des températures des repères secondaires au centième de degré (sauf pour l'eau et le zinc); intérêt d'avoir un repère secondaire vers - 120°C)..	26
Relation entre l'Échelle Internationale et l'échelle thermodynamique : ajournement de la discussion de cette question.....	27
Adoption du tableau de désignation des températures dans les échelles internationale et thermodynamique.....	27
Un second projet de texte de l'Échelle Internationale de Température sera établi par les soins du Bureau International et donnera lieu à une discussion par correspondance.....	27
Cinquième Rapport du Comité Consultatif de Thermométrie au Comité International des Poids et Mesures; par J. A. Hall.....	29
Annexes des Procès-Verbaux du Comité Consultatif de Thermométrie.....	35
T 1. NATIONAL PHYSICAL LABORATORY (Royaume-Uni). — <i>Résultats de la comparaison internationale des thermomètres à résistance de platine S 167, R 13 et n° 109 dans dix Laboratoires</i> (Mesure de l'intervalle 0-100°C de l'Échelle Internationale de Température); par C. R. Barber et J. A. Hall.	35

	Pages.
T 2. KAMERLINGH ONNES LABORATORIUM (Pays-Bas). — <i>Sur la différence entre résistance réelle et idéale du platine</i> ; par H. Van Dijk.....	T 42
NATIONAL PHYSICAL LABORATORY (Royaume-Uni) :	
T 3. <i>La définition d'une échelle de température dans le domaine 20 à 90°K, en utilisant le thermomètre à résistance de platine comme instrument d'interpolation</i> ; par C. R. Barber.....	52
T 4. <i>Remarques sur les propositions pour une échelle de température entre 20 et 90°K</i> ; par C. R. Barber.....	58
T 5. KAMERLINGH ONNES LABORATORIUM (Pays-Bas). — <i>Nouveaux calculs des points fixes importants dans le domaine des basses températures</i> ; par H. Van Dijk.....	61
T 6. PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT (Allemagne). — <i>Écart entre l'Échelle Internationale de Température et l'échelle thermodynamique au-dessus du point d'ébullition du soufre, d'après les plus récentes mesures au thermomètre à gaz</i> ; par H. Moser, J. Otto et W. Thomas.....	67
T 7. TOKYO INSTITUTE OF TECHNOLOGY (Japon). — <i>Note sur la réalisation du point de l'or</i> ; par J. Oishi et M. Awano....	75
T 8. PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT (Allemagne). — <i>Le thermocouple platine-platine rhodié dans l'Échelle Internationale de Température</i> ; par H. Moser et P. Rahlfs....	78
T 9. CENTRAL INSPECTION INSTITUTE OF WEIGHTS AND MEASURES (Japon). — <i>Sur la stabilité de thermomètres à résistance de platine portés à 1100°C</i> ; par R. Yoneda, S. Nakaya et H. Uchiyama.	83
T 10. NATIONAL RESEARCH COUNCIL (Canada). — <i>Nouvelle preuve de la stabilité du point du zinc et résultats de l'analyse thermique de huit échantillons de zinc de grande pureté</i> ; par E. H. McLaren.....	84
T 11. NATIONAL PHYSICAL LABORATORY (Royaume-Uni). — <i>Le point de solidification du zinc en tant que point fixe primaire de l'Échelle Internationale de Température</i>	94
T 12. INSTITUT DE MÉTROLOGIE D. I. MENDÉLÉEV (U. R. S. S.). — <i>Recherches sur la reproductibilité de la température de solidification du zinc de grande pureté</i> ; par Ph. Z. Alieva.	102
T 13. NATIONAL RESEARCH COUNCIL (Canada). NATIONAL BUREAU OF STANDARDS (États-Unis d'Amérique). — <i>Température du point du zinc et comparaison de deux déterminations du point du soufre dans un appareil fermé</i> ; par R. J. Berry, E. H. McLaren et J. L. Riddle.....	111
T 14. BUREAU INTERNATIONAL DES ÉTALONS PHYSICO-CHIMIQUES (Belgique). — <i>Mémoire concernant les repères de température</i> ; par J. Timmermans.....	114
T 15. NATIONAL RESEARCH COUNCIL (Canada). — <i>Relation température-</i>	

	Pages.
<i>temps dans la réalisation du point du soufre et du point triple de l'eau; par R. J. Berry.....</i>	T 116
T 16. DEUTSCHES AMT FÜR MASS UND GEWICHT (Allemagne). — <i>Sur la température de luminance monochromatique du radiateur immergé au point de l'or; par H. Wagenbreth.</i>	123
T 17. NATIONAL RESEARCH COUNCIL (Canada). NATIONAL BUREAU OF STANDARDS (États-Unis d'Amérique). PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT (Allemagne). DEUTSCHES AMT FÜR MASS UND GEWICHT (Allemagne). — <i>Rapport sur l'étalonnage de deux lampes étalons secondaires à ruban de tungstène par quatre Laboratoires nationaux; par D. R. Lovejoy (N. R. C.), H. J. Kostkowski (N. B. S.), H. Kunz (P. T. B.), H. Wagenbreth (D. A. M. G.).....</i>	133
INSTITUT DE MÉTROLOGIE D. I. MENDÉLÉEV (U. R. S. S.) :	
T 18. <i>Nouvelle méthode pour l'étalonnage des pyromètres optiques. Nouveau pyromètre optique de précision; par V. E. Phinkelschtein et V. V. Kandiba.....</i>	142
T 19. <i>L'emploi de la méthode photoélectrique pour les mesures précises dans le domaine de la pyrométrie optique; par L. A. Bojarski, A. N. Gordov, G. L. Ioselson, V. V. Kandiba, J. J. Kirenkov, V. A. Kovalevski, G. A. Krachmalnikova, E. A. Lapina et K. G. Tarajanz.....</i>	151
T 20. KAMERLINGH ONNES LABORATORIUM (Pays-Bas). — <i>L'échelle de température L 55 à tension de vapeur de l'hélium.....</i>	165
T 21. U. S. NAVAL RESEARCH LABORATORY (États-Unis d'Amérique). — <i>L'échelle de température 55 E à tension de vapeur de l'hélium; par J. R. Clement.....</i>	177
T 22. <i>L'échelle de température à tension de vapeur dans le domaine de l'hélium liquide.....</i>	188
T 23. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS (États-Unis d'Amérique). — <i>Note sur le projet de révision du texte de l'Échelle Internationale de Température de 1948.....</i> <i>Projet de révision du texte de l'Échelle Internationale de Température de 1948.....</i>	194 198
T 24. ELECTROTECHNICAL LABORATORY (Japon). — <i>Recuit des fils des thermocouples étalons; par K. Okada et H. Satone....</i>	211
T 25. BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. — <i>Projet d'un baromètre à mercure interférentiel; par J. Terrien.....</i>	217
T 26. CENTRAL INSPECTION INSTITUTE OF WEIGHTS AND MEASURES (Japon). — <i>Baromètre étalon interférentiel; par I. Oyama, K. Koizumi et R. Kaneda.....</i>	220
T 27. <i>Bibliographie relative à l'Échelle Internationale de Température.....</i>	223
TABLES DES MATIÈRES.....	I-IX

