

ERRATA:

Procès-Verbaux, 1952, 2^e série, t. XXIII-B, p. T 48.
(Comité Consultatif de Thermométrie)

Annexe T 4 : *Sur l'emploi du thermomètre à résistance de platine pour la mesure des basses températures.*

Page T 49, 4^e ligne à partir du bas, *lire* :
alors moins pratique...

Page T 50, 14^e ligne à partir du bas, *lire* :
ou, en posant

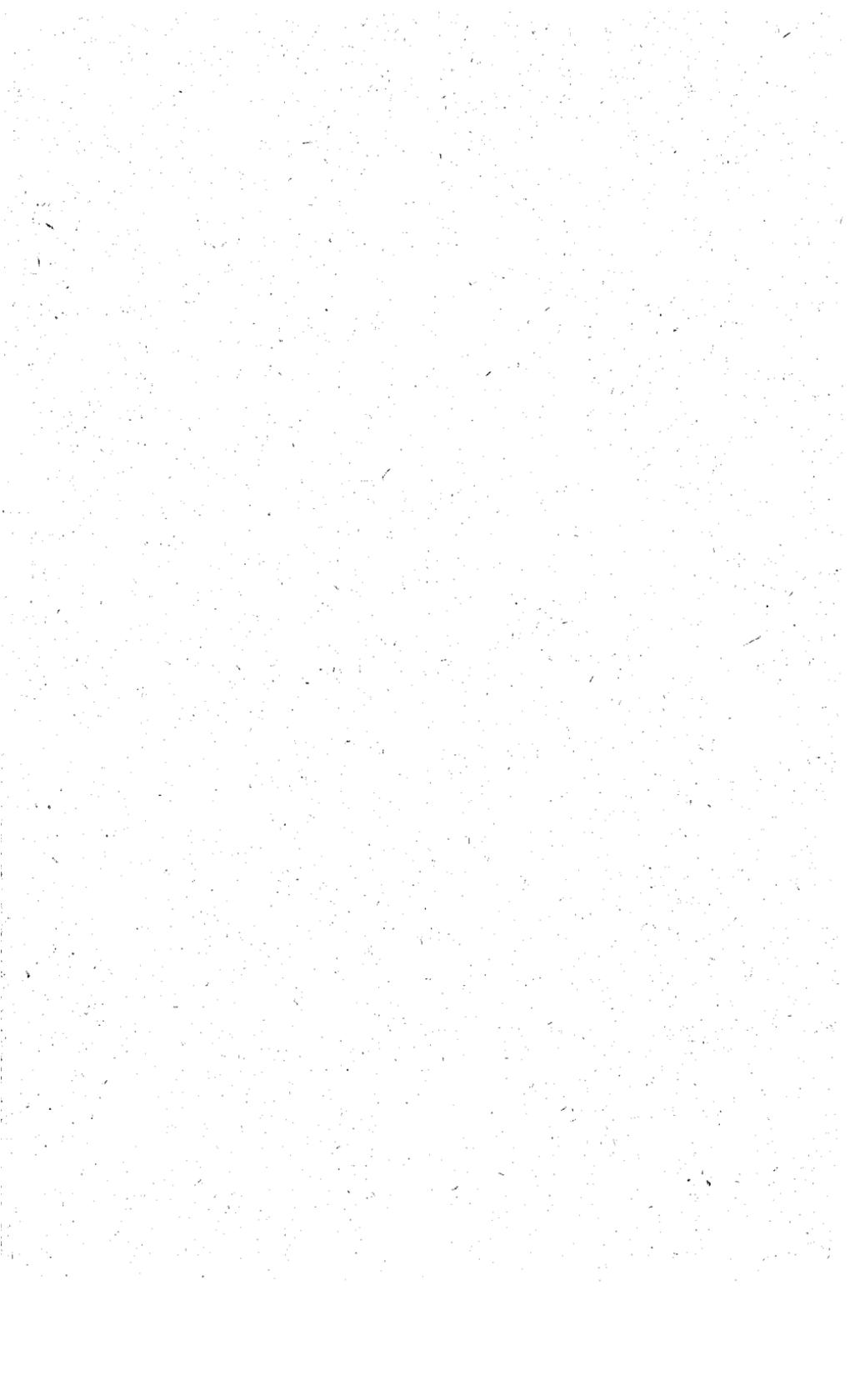
$$\frac{R}{R_1} = \omega, \quad \frac{Z}{Z_1} = \zeta, \quad \frac{R_{00}}{R_1} = \omega_0 \quad \text{et} \quad \varepsilon = \varepsilon_1 \zeta = \eta.$$

Page T 52, 17^e et 18^e lignes à partir du haut, *lire* :

$$\begin{array}{rcccc} \varepsilon \dots & 100 & 0 & \dots \\ \eta \dots & -0,524 & 0 & \dots \end{array}$$

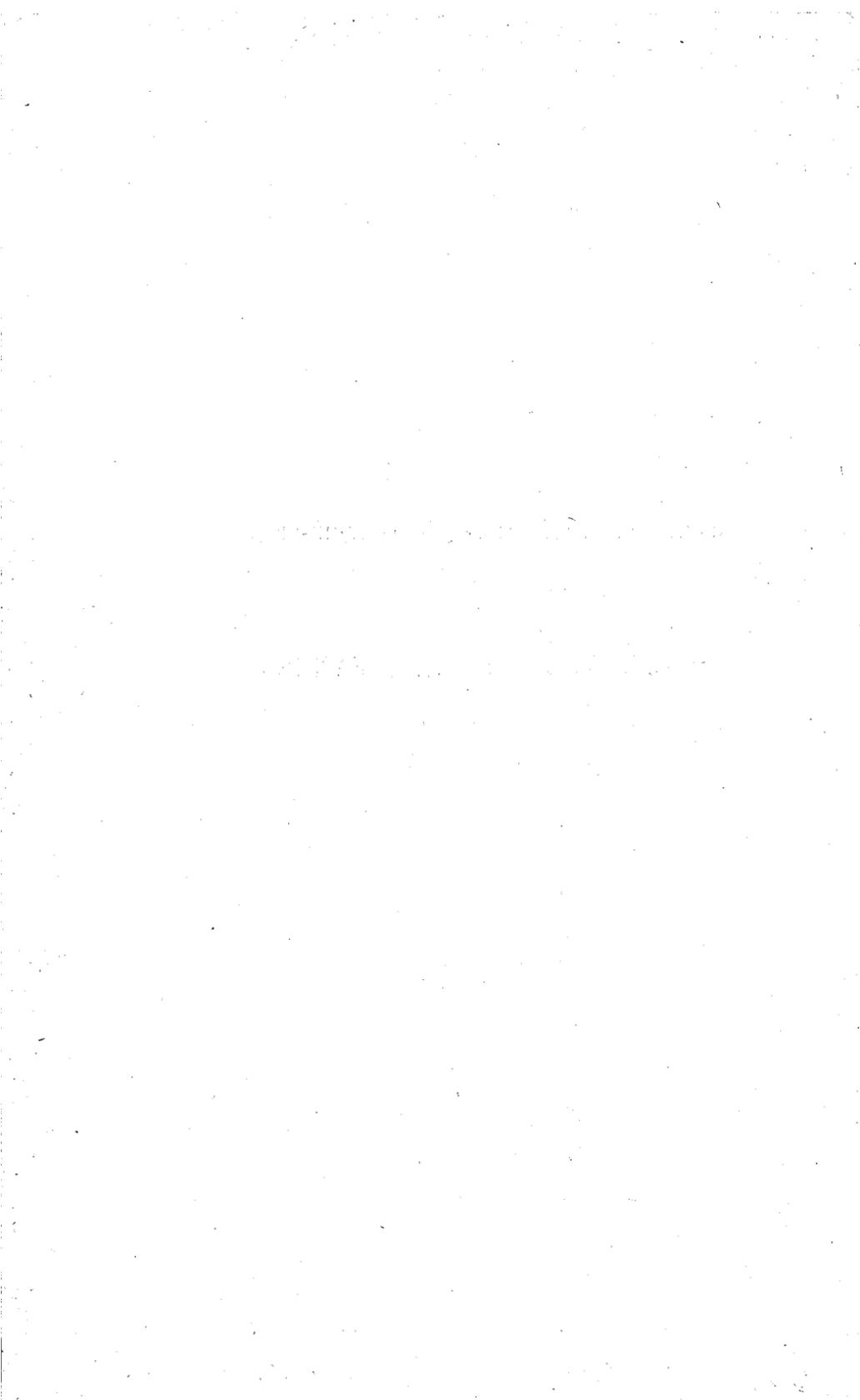
Page T 54, 14^e ligne à partir du haut, *lire* :

Dans plusieurs cas l'hypothèse $r = R_{00}\varepsilon$ permet...



COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES



COMITÉ INTERNATIONAL

DES POIDS ET MESURES

PROCÈS-VERBAUX

DES SÉANCES.

DEUXIÈME SÉRIE. — TOME XXIV.

SESSION DE 1954

(28 septembre - 14 octobre)

ET SESSIONS DES COMITÉS CONSULTATIFS

Définition du Mètre (1953) — Thermométrie (1954)



PARIS

GAUTHIER-VILLARS, ÉDITEUR-IMPRIMEUR-LIBRAIRE

55, Quai des Grands-Augustins, 55

1953

© 1956 by Gauthier-Villars.

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation
réservés pour tous pays.

LISTE DES MEMBRES

DU

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

AU 28 SEPTEMBRE 1954.

Président :

1. J. E. SEARS, Ancien Superintendent, Section de Métrologie du National Physical Laboratory, Woodsome, The Gardens, Pelham's Walk, *Esher*, Surrey.

Secrétaire :

2. G. CASSINIS, Recteur, Politecnico Milan, Commissione Geodetica Italiana, Piazza Leonardo da Vinci 32, *Milan*.

Membres :

3. J. DE BOER, Professeur à l'Université, Finsenstraat 28, *Amsterdam-O*.
4. G. D. BOURDOUN, Vice-Président, Comité des Normes, des Mesures et Instruments de Mesure, Ul. Tchousev 4, *Moscou 1*.
5. E. C. CRITTENDEN, Conseiller du National Bureau of Standards, 1715 Lanier Place, N. W., *Washington 9*, D. C.
6. A. DANJON, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire de Paris, 61 avenue de l'Observatoire, *Paris (14^e)*.
7. R. H. FIELD, Chief, Metrology Section, National Research Council, *Ottawa 2*, Ontario.

8. T. ISNARDI, Professeur de Physique, Faculté des Sciences, Perú 222, *Buenos Aires*.
9. C. KARGATCHIN, Chef de Section honoraire, Ministère du Commerce, Martičeva 31, *Zagreb*.
10. J. NUSSBERGER, Directeur, Cejchovni A Puncovni Reditelstvi, V Botanice č. 4, *Praha XVI*.
11. J. M. OTERO, Directeur, Instituto de Optica «Daza de Valdés», Serrano 119, *Madrid*.
12. M. ROŠ, Ancien Président de la Direction du Laboratoire fédéral d'essai des Matériaux et Institut de Recherches, 35 Mühlebachstrasse, *Zürich 8*.
13. M. SIEGBAHN, Directeur, Nobelinstitutet för Fysik, *Stockholm 50*.
14. C. STATESCU, Str. N. Ionescu 10, *Bucarest II*.
15. R. VIEWEG, Président, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, *Braunschweig*.
16. Z. YAMUTI, Department of Applied Physics, Faculty of Engineering, University of Tokyo, Bunkyo-ku, *Tokyo*.
17.
18.

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. CHATELAIN, Professeur à l'Institut Polytechnique, *Lenin-grad 21*.
3. M. DEHALU, Administrateur-Inspecteur honoraire de l'Université de Liège, 17 quai du Halage, *Visé*.
4. W. J. DE HAAS, Directeur honoraire du Kamerlingh Onnes Laboratorium der Rijks-Universiteit, Rijnsburgerweg 20, *Leyde*.



LISTE DU PERSONNEL

DU

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

AU 28 SEPTEMBRE 1954.

Directeur.....	CH. VOLET.
Sous-Directeur.....	J. TERRIEN.
Adjoint.....	A. BONHOURE.
Archiviste-comptable.....	A. JEANNIN.
	H. MOREAU.
	M. GAUTIER.
	G. LECLERC.
Assistants.....	A. THULIN.
	K. YOSHÉ.
	J. HAMON.
	J. BONHOURE.
Secrétaires-dactylographes.	M ^{me} C. BABÓLAT.
	M ^{me} G. BROCHARD.
	G. GIRARD.
Calculateurs.....	F. LESUEUR.
	C. GARREAU.
	R. HANOCQ.
Mécaniciens.....	R. MICHARD.
	J. DIAZ.
Gardiens.....	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.
 - Révision de la Convention du Mètre. Accessions.
 - Rapport du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre.
 - Rapport du Comité Consultatif de Thermométrie.
 - Définition de l'unité de temps.
 - Système pratique international. Symboles d'unités.
 - Liste des symboles.
 - Statut du personnel du Bureau.
 - Caisse de retraites.
 - Budget pour 1955 et 1956.
 - Nomination de nouveaux Membres.
 - Élection du bureau du Comité International des Poids et Mesures.
 - Présidents et spécialistes des Comités Consultatifs.
 - Questions diverses.
-

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES.

SESSION DE 1954

PROCÈS-VERBAL

DE LA PREMIÈRE SÉANCE,

TENUE AU BUREAU INTERNATIONAL.

Mardi 28 septembre 1954.

PRÉSIDENCE DE Mr J. E. SEARS.

La séance est ouverte à 15^h 15^m.

Sont présents : MM. DE BOER, BOURDOUN, CASSINIS, CRITTENDEN, FIELD, ISNARDI, KARGATCHIN, NUSSBERGER, OTERO, SIEGBAHN, VIEWEG, YAMAUTI, VOLET.

Assistent à la séance : Mr KOLOSOSOV, invité; Mr TERRIEN, Sous-Directeur du Bureau; M^{me} POPANDOPOULO, interprète.

Mr le PRÉSIDENT rappelle avec regret le décès de MM. RAUSZER et JOHANSEN; il invite l'assemblée à se lever et à se recueillir quelques instants dans le souvenir de ces collègues qui furent très dévoués à l'œuvre du Comité.

Il signale la démission de Mr KOUZNETSOV, à qui ses nouvelles fonctions ne permettent plus de venir aux réunions du Comité.

Il souhaite la bienvenue aux Membres récemment élus : Mr DE BOER, devenu aussitôt Président du Comité Consultatif de Thermométrie, et MM. BOURDOUN, NUSSBERGER, OTERO.

Mr le PRÉSIDENT constate que le quorum étant atteint, le Comité peut délibérer valablement.

Il transmet les excuses de Mr STATESCU, empêché, et de MM. DANJON et Roš qui ont été retenus momentanément. Aucun de ces Membres n'a délégué sa voix à un Membre présent.

Sur l'invitation de Mr le PRÉSIDENT, Mr CASSINIS, Secrétaire du Comité, présente le Rapport suivant :

RAPPORT
DU SECRÉTAIRE DU COMITÉ
POUR LA PÉRIODE COMPRISE

ENTRE LE 1^{er} SEPTEMBRE 1952 ET LE 31 AOÛT 1954.

Décès. — Le 20 octobre 1952, c'est-à-dire une semaine après notre dernière session, à laquelle d'ailleurs il n'avait pu assister, Z. RAUSZER est décédé à Varsovie, des suites d'une courte maladie. Le distingué Directeur du Bureau National des Mesures de Pologne était Membre de notre Comité depuis 1936, mais il avait déjà assisté aux Conférences Générales de 1927 et 1933 comme délégué de son Pays. Il s'est toujours montré un ardent défenseur du Système Métrique et du Bureau International des Poids et Mesures qu'il aurait voulu voir doté de compétences plus larges. Notre Comité l'avait nommé Président du Comité Provisoire de Métrologie Légale, fonction qu'il a conservée jusqu'en 1950.

Le Professeur E. S. JOHANSEN, qui avait donné sa démission à la fin de notre dernière session et à qui nous avons conféré le titre de Membre honoraire, est décédé le 19 mai 1954 à Copenhague. Notre regretté collègue avait, pendant 24 ans, fait preuve d'une grande assiduité à nos séances et du plus grand intérêt pour nos travaux. Les paroles d'adieu qu'il nous adressa en nous quittant resteront chères à notre souvenir.

J'ai par ailleurs le regret de mentionner le décès, survenu en 1953, de L. MAUDER, adjoint honoraire du Bureau International et pensionné de notre Caisse de retraites depuis 1935.

Démission. — Au mois de juillet dernier nous avons reçu la démission de Mr A. KOUZNETSOV. Notre collègue soviétique craignant que les activités toujours plus nombreuses qu'il assume dans son Pays ne lui permettent pas de consacrer assez de temps à nos travaux, a estimé de son devoir de prendre cette résolution.

Élections. — Les élections auxquelles nous avons procédé depuis notre dernière réunion sont au nombre de quatre. Ce furent, en novembre 1953, celles de Mr J. DE BOER, Professeur à l'Université d'Amsterdam et de Mr J. NUSSBERGER, Directeur du Service des Poids et Mesures de Tchécoslovaquie; en avril 1954 celle de Mr J. M. OTERO, Directeur de l'Institut d'Optique à Madrid, et enfin, en septembre 1954, l'élection de Mr G. D. BOURDOUX, Premier Vice-Directeur de la Chambre Centrale des Mesures de l'U. R. S. S.

En mai 1954, notre nouveau collègue Mr J. DE BOER a été nommé, à la suite d'un vote par correspondance, Président du Comité Consultatif de Thermométrie, en remplacement de Mr W. J. DE HAAS.

Comités Consultatifs. — Le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre, que nous avons créé en 1952, a tenu une première session les 15 et 17 septembre 1953 sous la présidence de Mr R. H. FIELD. Trois séances bien remplies ont permis d'apporter une contribution substantielle à la solution du problème fondamental qui nous est posé. Si cette solution n'apparaît pas encore clairement dans sa forme définitive, on peut dire qu'un grand pas a été fait en attirant l'attention des expérimentateurs et théoriciens sur les points qu'il convient encore de préciser avant de procéder à un changement si important dans la définition du mètre.

Le Comité Consultatif de Thermométrie a aussi tenu trois séances les 12 et 13 juillet 1954, sous la nouvelle présidence de Mr J. DE BOER, qui s'est montré en la circonstance le digne successeur de notre éminent Membre honoraire Mr W. J. DE HAAS. Le programme de cette session, qui semblait devoir être modeste, s'est en réalité trouvé extrêmement riche en raison du grand intérêt que portent, d'une part, les laboratoires spécialisés à établir une échelle précise des températures et, d'autre part, les théoriciens à définir peut-être plus rationnellement l'Échelle thermodynamique.

J'ai moi-même assisté aux sessions de ces deux Comités Consultatifs dont les Rapports qui nous sont présentés ont été établis respectivement par Mr E. PERUCCA et Mr J. A. HALL.

Étalon du Radium. — La question soulevée à notre dernière session à propos de la garde de l'Étalon du Radium a été heureu-

sement résolue à la suite des démarches effectuées par le Directeur du Bureau International. La Commission Mixte de Radioactivité, réunie en juillet 1953 à Stockholm, a en effet décidé que cet étalon devait être confié à la garde du Directeur du Laboratoire Curie, à Paris.

Statut du personnel. — L'évolution de la situation économique en France a amené le bureau du Comité à prendre des mesures provisoires sur lesquelles le Comité International aura à se prononcer. C'est ainsi que, les allocations familiales dont bénéficient les fonctionnaires français ayant été augmentées, nous avons porté celles que nous accordons au personnel du Bureau International de 6 646 à 7 000 francs par enfant et par mois, à partir du 1^{er} janvier 1954. D'autre part, nous avons cherché à obtenir quelques avantages en faveur de ce personnel. La demande d'exonération d'impôts que nous avons adressée au Gouvernement Français a été prise en considération avec bienveillance, mais elle n'a que partiellement abouti. Seuls les Membres étrangers du Bureau International bénéficient de ce privilège. Toutefois, le statut des Membres des Organisations internationales résidant en France est actuellement à l'étude par les autorités françaises, ce qui nous donne l'espoir de voir bientôt disparaître la discrimination que je viens de mentionner. Enfin, reprenant une idée déjà ancienne, nous avons accordé aux jeunes étrangers une majoration de salaire de 10% à partir du 1^{er} avril 1953. Cette mesure, qui nous a paru opportune dans le but de favoriser le recrutement de jeunes physiciens hors de France et d'accentuer ainsi le caractère international de notre Institut, devra faire l'objet de nos discussions futures.

Versements des États. — Le précédent Rapport mentionnait, dans l'ensemble, un retour à la normale pour l'encaissement des contributions. La situation demeure généralement satisfaisante.

L'Allemagne de l'Est s'est mise à jour en acquittant intégralement les sommes lui incombant à compter du 1^{er} janvier 1944. La République Argentine, le Chili et le Pérou étant en retard, lors de l'établissement de la Notification pour 1954, de leurs cotisations échues depuis 1950, il a été procédé à la répartition de leur quote-part, en application de la clause de solidarité instituée par l'article 6 du Règlement annexé à la Convention du Mètre. La République Argentine a acquitté par la suite sa contribution afférente à l'exercice 1950.

VERSEMENTS DES ÉTATS (afférents aux exercices 1949 à 1953).

ÉTATS.	CONTRIBUTIONS (en francs-or).					DATES DES VERSEMENTS.				
	1949.	1950.	1951.	1952.	1953.	1949.	1950.	1951.	1952.	1953.
1. Allemagne { Est...	3 926	3 926	3 926	3 926	4 581	X 52	X 52	XII 52	VIII 52	IV 53
{ Ouest.	10 821	10 821	7 966	10 821	12 624	VI 54				
2. Argentine (Rép.)...	4 365	4 012	2 113	3 066	4 050	IX 50	XII 50.	II 51	III 52	VI 53
3. Australie.....	2 006	1 907	1 266	1 409	1 862	VI 49	XI 53	—	—	—
4. Autriche.....	1 712	1 562	773	1 202	1 588	XII 49	V 51	V 51	I 52	I 53
5. Belgique.....	2 277	2 082	1 054	1 599	2 113	III 49	V 50	IV 51	II 52	III 53
6. Bulgarie.....	1 901	1 722	799	1 334	1 763	VII 49	VII 50	IX 51	VIII 52	VII 53
7. Canada.....	3 446	3 158	1 629	2 420	3 198	XII 49	VIII 52	IX 51	III 53	XI 53
8. Chili.....	1 411	1 289	647	991	1 310	I 49	XII 49	XII 50	XII 51	I 53
9. Danemark.....	1 096	1 009	530	770	1 018	—	—	—	—	—
10. Espagne.....	7 489	6 856	3 505	5 260	6 950	XI 49	—	—	—	—
11. États-Unis d'Am...	28 287	25 849	13 007	19 867	26 250	VI 49	III 50	II 51	I 52	XI 52
12. Finlande.....	1 048	963	500	737	973	VIII 50	XII 50	VIII 51	III 52	III 54*
13. France et Algérie..	13 344	12 196	6 149	9 371	12 383	V 49	V 49	VIII 51	III 52	II 53
14. Grande-Bretagne et Irlande du Nord.	13 103	11 978	6 045	9 202	12 159	VI 49	III 50	I 51	I 52	III 53
15. Hongrie.....	2 492	2 221	887	1 750	2 312	VII 49	XII 50	VII 51	XI 52	V 53
16. Irlande.....	943	862	433	663	875	—	X 51	—	—	—
						III 49	I 50	II 51	XII 51	XI 52
						V 49	III 51	III 51	I 52	XI 52
						III 50	IV 51	VII 51	XII 52	IX 53

VERSEMENTS DES ÉTATS (afférents aux exercices 1949 à 1953) (suite).

ÉTATS.	CONTRIBUTIONS (en francs-or).					DATES DES VERSEMENTS.				
	1949.	1950.	1951.	1952.	1953.*	1949.	1950.	1951.	1952.	1953.
17. Italie.....	12 170	11 128	5 624	8 547	11 293	XII 49 VII 50	V 50	III 51	VII 52	IV 53
18. Japon.....	15 554	15 554	15 957	13 733	18 147	XII 49	XII 49	VIII 51	VII 52	VI 53
19. Mexique.....	5 947	5 443	2 776	4 177	5 518	IV 49	IX 50	VIII 51	VIII 51 XI 52	I 54
20. Norvège.....	943	862	433	662	875	VIII 49	VI 50	XII 50	XI 51	X 52
21. Pays-Bas.....	2 610	2 391	1 226	1 833	2 421	III 49	IV 50	XI 51	III 52	IX 53
22. Pérou.....	2 101	1 923	984	1 475	1 949	XI 50	—	—	—	—
23. Pologne.....	6 400	5 847	2 931	4 495	5 940	XII 49	XII 50	XII 51	II 53	XII 53
24. Portugal.....	2 066	1 884	937	1 451	1 917	IX 49	III 50	III 51	XI 52	IV 53
25. Roumanie.....	4 246	3 870	1 906	2 982	3 940	VI 49	II 50 V 50	IV 51	VII 52	I 54
26. Suède.....	1 830	1 674	854	1 286	1 698	III 49	II 50	II 51	III 52	XII 52
27. Suisse.....	1 140	1 040	520	801	1 059	III 49	II 50	I 51	IV 52	II 53
28. Tchécoslovaquie...	3 254	2 969	1 476	2 285	3 019	IX 49	XII 50	VIII 52	VIII 52	I 54
29. Thaïlande.....	3 684	4 506	3 358	3 253	4 298	III 50	VII 50	VII 51	VIII 52	XI 53
30. Turquie.....	5 044	4 619	2 371	3 542	4 681	III 49	III 50	IX 51	VIII 52	VIII 53
31. U. R. S. S.....	28 287	25 849	13 007	19 867	26 250	IV 49	XI 50	IV 51	III 52	IV 53
32. Uruguay.....	943	862	433	662	875	IV 51	IV 51	—	—	—
33. Yougoslavie.....	4 213	3 848	1 924	2 959	3 910	IX 49	VI 50	II 51	VI 52	I 54

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

Au 31 décembre 1953, le total des contributions restant dues s'élevait à 77 029 francs-or contre 49 349 francs-or au 31 décembre 1952 et 132 412 francs-or au 31 décembre 1951.

Selon l'usage, on a fait figurer dans le tableau des pages 10 et 11 les versements effectués par les États pendant la période allant de 1949 au 31 août 1954.

Le Comité International a eu la grande satisfaction d'enregistrer le retour du Brésil au nombre des États adhérents à la Convention du Mètre et de recevoir l'adhésion de la République Dominicaine. Les contributions d'entrée de ces deux pays s'élevant respectivement à 23 318 et 2 625 francs-or seront affectées, en vertu de l'article 11 de la Convention, à l'amélioration du matériel scientifique du Bureau International.

Don Unique. — De nombreux États ont répondu favorablement à l'appel du Comité International tendant à la mise en œuvre de la Résolution 8 adoptée par la Neuvième Conférence Générale des Poids et Mesures en 1948.

Au 31 août 1954 la liste des versements effectués par les États au titre du Don Unique s'établissait comme suit :

	francs-or.
Allemagne (Zone Ouest).....	7 214
Australie.....	1 080
Autriche.....	908
Belgique.....	1 224
Canada.....	1 828
Danemark.....	588
Finlande.....	556
France.....	8 256
Grande-Bretagne.....	6 948
Japon.....	10 171
Norvège.....	500
Pays-Bas.....	1 332
Pologne.....	3 355
Portugal.....	1 095
Roumanie.....	2 248
Suède.....	1 015
Turquie.....	1 363
Tchécoslovaquie.....	2 069
U. R. S. S.....	15 000
TOTAL.....	66 750

Ces ressources exceptionnelles ont trouvé ou trouveront leur emploi dans le perfectionnement de l'équipement des laboratoires du Bureau International (1).

Indications financières. — Dotation. — Le tableau qui suit permet une appréciation de la situation financière du Bureau :

Actif du Bureau (francs-or).

	Fonds		Caisse de retraites.	Don unique.	Totaux.
	disponibles.	de réserve.			
1 ^{er} janvier 1951.	362 718,29	37 471,83	63 028,70	-	463 218,82
1 ^{er} » 1952.	332 866,57	32 650,83	65 211,68	-	430 729,08
1 ^{er} » 1953.	292 291,92	32 637,74	46 093,38	590,00	371 613,04
1 ^{er} » 1954.	213 344,73	32 637,74	27 522,48	16 238,00	289 742,95

L'amointrissement de l'actif du Bureau, selon une tendance déjà signalée dans le précédent Rapport, s'est poursuivi à une allure accrue. Cette évolution était inévitable, principalement sous l'influence de la disparité durable à laquelle sont soumises les finances du Bureau, entre le coefficient de conversion des francs-or en francs français (1 franc-or = 114,345 francs français) et le niveau général des prix en France (175 pendant le 1^{er} trimestre 1954 sur la base 1 en 1914).

Le Comité International a fortement motivé, dans le document de convocation de la Dixième Conférence Générale des Poids et Mesures, sa proposition de relever de 175 000 à 300 000 francs-or, à partir de l'exercice 1955, la partie principale de la dotation du Bureau. L'adoption de cette mesure apparaît indispensable pour rétablir sur une base solide le budget de notre Institution et permettre à celle-ci de maintenir intacte son activité scientifique.

Mr le PRÉSIDENT remercie Mr CASSINIS de ce Rapport qui fait ressortir clairement des questions essentielles.

(1). Peu de temps après l'établissement de la liste ci-dessus sont intervenus les versements de l'Allemagne, zone Est (3 014 francs-or); de l'Italie (6 453 francs-or); de la Yougoslavie (2 677 francs-or) et de la Suisse (605 francs-or).

Mr VOLET présente les procès-verbaux du dépouillement des votes qui ont eu lieu par correspondance pour l'élection de nouveaux Membres. Sur l'invitation de Mr le PRÉSIDENT, il commente ensuite les principaux points du Rapport suivant :

RAPPORT DU DIRECTEUR

SUR L'ACTIVITÉ ET LA GESTION DU BUREAU
ENTRE LE 1^{er} SEPTEMBRE 1952 ET LE 31 AOÛT 1954.

I. — PERSONNEL.

Peu de changements sont à signaler dans la composition du personnel du Bureau International.

Jacques BONHORE, licencié ès sciences mathématiques et physiques de l'Université de Paris, qui avait déjà participé comme auxiliaire, en novembre et décembre 1952, à quelques travaux de photométrie, a été nommé assistant de 4^e classe le 1^{er} janvier 1953; il montre beaucoup d'application à son travail et fera des stages dans nos différentes sections avant de se spécialiser.

Notre collègue, M. le Professeur Z. YAMAUTI, ayant manifesté le désir qu'un physicien de l'Electrotechnical Laboratory de Tokyo fasse un stage au Bureau International, j'ai engagé, avec le rang d'assistant de 3^e classe, Kiyoshi YOSHIE, licencié ès sciences. Ce dernier a pris ses fonctions le 15 juin 1953 et, tout en s'initiant à nos différentes techniques, se spécialise dans les mesures photométriques pour lesquelles il nous a déjà rendu de bons services.

Un jeune homme sortant des écoles de Sèvres, Claude GARREAU, est entré comme calculateur le 1^{er} septembre 1952.

M^{lle} M. LEROY, comme auxiliaire dactylographe, a continué de nous apporter une aide occasionnelle.

J'ai le plaisir de signaler, d'autre part, que G. LECLERC, qui est entré au Bureau International il y a 16 ans comme calculateur, vient d'obtenir le grade d'Ingénieur-physicien du Conservatoire National des Arts et Métiers après avoir, en particulier, exécuté au Bureau un travail sur les thermistances dont il sera question dans la suite de ce Rapport.

Notre Adjoint honoraire Louis MAUDET, retraité depuis le 1^{er} octobre 1935, est décédé en janvier 1953 dans sa 82^e année. Entré au Bureau International en 1896 comme calculateur, L. MAUDET avait, grâce à son application, conquis ses grades jusqu'à celui d'Adjoint; le travail accompli par ce métrologiste consciencieux durant les quarante années qu'il a passées au Bureau est considérable. Collaborateur de Ch.-Éd. GUILLAUME et de A. PÉRARD dans leurs travaux sur les étalons de longueurs à traits et à bouts, l'étude des alliages et la mesure des fils géodésiques, L. MAUDET a été par la suite presque exclusivement chargé des étalons de masse et des fils géodésiques. C'est à ce dernier titre qu'il avait participé en 1905 à la mesure de la base géodésique du Simplon, effectuée sous la direction de Ch.-Éd. GUILLAUME aussitôt après le percement du tunnel.

Dans la collection de nos *Travaux et Mémoires*, L. MAUDET a signé deux Mémoires : *Études sur les étalons à bouts*. II. *Étalons à bouts plans* (avec A. PÉRARD) et *Première vérification périodique des Mètres prototypes nationaux* (avec A. PÉRARD et Ch. VOËT). On lui doit également une Note sur *L'invariabilité de l'unité de masse assurée par le Kilogramme prototype*, publiée dans le volume consacré au cinquantenaire de la fondation du Bureau International.

II. — BÂTIMENTS.

Grand Pavillon. — Mon dernier Rapport faisait état des craintes que m'inspiraient certains indices relatifs à l'instabilité de l'angle Nord-Est de ce bâtiment, sous lequel d'importants travaux de consolidation ont été exécutés en 1894, puis en 1950. Des témoins posés récemment montrent que le glissement n'a pas été arrêté. Va-t-il enfin s'atténuer, ou se trouve-t-on en présence d'un problème d'une ampleur plus considérable qu'on n'a cru ? Nos prochaines observations permettront d'en juger. J'ai, depuis peu, un nouvel espoir de voir la situation s'améliorer. Il existait en effet, sous l'aile Nord du Grand Pavillon, une fosse murée de 10 m³ recevant des eaux polluées. Étant dans un sol instable, cette fosse devait certainement être fissurée, ce que confirment les odeurs suspectes dont j'avais depuis longtemps cherché la provenance. Il est ainsi probable que l'eau qu'on a trouvée lors

des travaux de 1950 avait cette origine. Il a été facile de remédier à cet état de choses en mettant la fosse hors d'usage et en la comblant. Les eaux polluées ont pu être évacuées facilement dans la canalisation voisine, grâce à un nouvel aménagement de cette partie du bâtiment. Cette transformation, qui s'imposait au point de vue de l'hygiène, ne peut être que favorable à la stabilité du terrain environnant. Elle a permis en même temps de gagner de la place pour nos archives, tout en rendant plus spacieuse et claire l'entrée de la bibliothèque et du bureau adjacent.

Des travaux importants ont été effectués dans l'appartement du Directeur, devenu libre en juin 1953, en vue de l'adapter aux circonstances de la vie moderne. Je rappelle qu'à l'origine cette belle résidence était occupée non seulement par le Directeur, mais également par ses adjoints; on y faisait aussi le calibrage des thermomètres. Le hall d'entrée a été agrandi et l'escalier rendu plus clair en supprimant une petite pièce du rez-de-chaussée. Le salon a été rétabli dans ses dimensions originales par l'abattement d'une cloison. La cuisine, qui était au sous-sol, a été installée dans l'office à côté de la salle à manger. Un escalier de pierre a remplacé l'escalier de bois. A l'étage, chaque chambre à coucher est accompagnée d'un cabinet de toilette.

Ces travaux ont été exécutés sous la direction de l'architecte R. COULON, de Paris. Ils ont malheureusement été retardés par la carence de certains entrepreneurs et aussi par la nécessité où l'on s'est trouvé d'effectuer quelques travaux d'entretien auxquels on s'attend, sans pouvoir les prévoir, lorsqu'on apporte des modifications à un bâtiment qui a deux siècles d'existence. Les distributions d'eau, de gaz et d'électricité qui, au cours des années, avaient atteint un degré de complication extrême, tout en étant insuffisantes et quelquefois dangereuses, ont dû être refaites. On s'est limité toutefois aux travaux les plus urgents. Lorsque ceux-ci se sont révélés nécessaires, j'ai tenu à ce qu'ils conduisent à des solutions aussi durables que possible. Le privilège que le Bureau International a d'occuper le Pavillon de Breteuil vaut bien qu'on fasse quelques efforts pour combattre l'inexorable vétusté si souvent mentionnée dans les Rapports de mes prédécesseurs et qu'il n'a pas toujours été possible d'enrayer faute de crédits suffisants.

Je mentionne encore que les bureaux du Directeur, des secrétaires et la salle d'attente ont été rafraîchis et modernisés.

Enfin, je signale que l'on a installé au Grand Pavillon un système d'assèchement des murs par électro-osmose en vue de com-

battre une humidité ancienne et tenace qui cause de graves dégâts aux murs, aux peintures, planchers et charpentes en bois des bâtiments. Le système, déjà expérimenté au Petit Pavillon depuis deux ans, a donné des résultats suffisamment encourageants pour nous inciter à en étendre l'emploi.

Petit Pavillon. — En dehors du système d'assèchement ci-dessus mentionné, ce bâtiment n'a reçu que des transformations de détail. J'ai fait améliorer l'aménagement du petit appartement qui en occupe le rez-de-chaussée. A une époque de crise de logement, cet appartement est appelé à rendre service à des fonctionnaires du Bureau qui attendent une location à l'extérieur. Le chauffage central a été muni d'une pompe à circulation. Il a été renforcé dans le logement précité, dans celui du gardien et dans l'atelier des mécaniciens. Dans le logement du gardien, un lavabo et une cabine de douche ont été installés.

Observatoire. — Une installation sanitaire identique a été faite chez le deuxième gardien.

La salle 4, dans laquelle le comparateur Brunner a été remplacé par un nouveau comparateur dit « normal », a subi une importante transformation. Il s'est révélé que les massifs de maçonnerie supportant les instruments de cette salle étaient défectueux. Nous savions déjà que celui du comparateur Brunner continuait à se déformer même après 70 ans d'âge. Nous avons en outre trouvé que celui du comparateur Hartmann était largement fendu, ayant été bâti sur un sol formé de remblai non tassé. Le nouveau comparateur a été monté sur une dalle en béton armé qui repose sur un lit de sable sec de 10 cm d'épaisseur. Ce dernier est lui-même étendu sur un massif de maçonnerie fondé sur un sol bien préparé. J'ai suivi de près ce travail, qui a été exécuté avec habileté par notre gardien J. DIAZ, et j'ai bon espoir qu'il donnera toute satisfaction pour la stabilité du comparateur. La salle a été repeinte et son éclairage modernisé.

La salle 9 a subi un nouvel aménagement. Un gros pilier monolithique, sur lequel on a fait autrefois de nombreuses mesures d'élasticité et qui manquait de stabilité, a été supprimé; on s'est en effet aperçu qu'il reposait directement sur le plancher de bois. Le sol de cette salle a été bétonné.

Dans la salle 13, la peinture a aussi été refaite; la distribution électrique a été révisée et le sol recouvert d'un linoléum.

L'insuffisance des locaux disponibles, déjà signalée dans mon précédent Rapport, nous a conduits à supprimer le petit musée qui était installé dans la pièce Nord-Est du nouvel observatoire et qui, cependant, nous rendait bien souvent service pour recevoir certains visiteurs. Cette pièce a été divisée en deux parties; l'une sert de bureau, l'autre d'atelier de mécanographie.

Le projet de surélévation de l'avant-corps de l'ancien observatoire a dû être provisoirement abandonné en raison du prix de la construction qui eût largement dépassé la première estimation qu'avaient faite les entrepreneurs. Cette mesure de prudence s'est révélée sage en raison de quelques excédents de dépenses qui sont survenus par ailleurs, mais elle laisse sans solution le problème du rangement de nos archives et de la bibliothèque.

L'eau industrielle, souvent très polluée, qui convenait de moins en moins au bon fonctionnement de nos appareils, a maintenant été remplacée par l'eau potable.

Électricité et Téléphone. — Les ressources procurées par le Don Unique ont permis de réaliser une amélioration qui, depuis plusieurs années, était à souhaiter dans l'alimentation en énergie électrique du Pavillon de Breteuil. On a construit une cabine haute tension, avec poste de transformation, desservie par un câble souterrain de 10000 V et l'on a mis en place, dans les bâtiments, des tableaux de distribution reliés à la cabine par des câbles neufs et de dimension suffisante pour pouvoir satisfaire à tous les besoins prévisibles dans les années à venir.

J'ai saisi l'occasion offerte par l'ouverture de la tranchée d'aménée du câble haute tension, qui vient de la Grande Rue de Sèvres et qui a 260 m de long, pour faire poser un câble téléphonique pouvant mettre à notre disposition sept lignes de raccordement avec le réseau extérieur. La ligne unique dont nous disposions jusqu'à maintenant était devenue très insuffisante pour écouler les communications téléphoniques du Bureau et pour les usages scientifiques, tels que la transmission de fréquences étalonnées.

Deux lignes d'appel sont déjà en service normal pour les communications téléphoniques ordinaires et une pour les buts expérimentaux. Le programme des travaux futurs devra maintenant comprendre le remplacement de notre installation téléphonique intérieure dont la capacité est elle-même devenue insuffisante et qui présente de graves symptômes de vétusté.

III. — MACHINES ET INSTRUMENTS.

Comparateurs.

Le comparateur pour les prototypes de 1 m, dont j'ai soumis le projet au Comité il y a deux ans, a été livré par la Société Genevoise d'Instruments de Physique et installé dans la Salle 4, où il succède au comparateur Brunner qui a été démonté. Ce nouvel instrument que nous appelons « comparateur normal » n'est pas encore parfaitement au point. Le principe nouveau qui a été adopté, c'est-à-dire l'immersion des objectifs, s'est d'ores et déjà révélé efficace, ainsi que la circulation permanente de l'eau pendant les mesures. Certains détails, tels que les commandes des réglages fins, restent encore à perfectionner pour rendre cet instrument d'un maniement aisé.

Les piliers en béton armé qui supportent les microscopes font corps avec la dalle, également en béton de 40 cm d'épaisseur, sur laquelle repose le comparateur. Ces piliers sont évidés, tant pour favoriser l'établissement de leur équilibre thermique, que pour permettre d'effectuer éventuellement des montages optiques qui pourraient être envisagés pour certaines comparaisons entre des longueurs à traits et des longueurs d'onde.

Le comparateur Hartmann qui a beaucoup servi autrefois pour des déterminations de broches à bouts sphériques n'était plus utilisé depuis un grand nombre d'années. Les étalons de ce type, auquel ce comparateur était spécialement destiné, ne sont presque plus employés et lorsqu'il s'en présente au Bureau nous préférons les déterminer par une méthode absolue. Pour cette raison, j'ai accepté de rétrocéder ce vieux comparateur au Laboratoire Central de l'Armement avec une collection de broches en acier Holtzer (B. I. P. M. AP. 1913).

Le comparateur photoélectrique dont j'ai déjà exposé la nécessité pour notre Bureau continue de faire l'objet de nos études. Il en sera rendu compte dans nos prochaines séances. Je me bornerai à dire ici que seule la question budgétaire nous empêche de doter le Bureau d'un instrument que les développements récents de la métrologie rendent indispensable.

*Base
géodésique.*

Le nouvel aménagement de la base géodésique, dont il a été question dans les Rapports du Directeur du Bureau présentés au Comité International en 1950 et en 1952, a été achevé par la mise en place de quatre microscopes et de quatre repères mobiles

du même type que ceux qui ont été installés en 1949. Nous avons maintenant la possibilité de mesurer, sur cette base, des fils ou des rubans géodésiques dont la longueur peut atteindre 50 m.

Le dilatomètre de 24 m dont la construction avait été décidée par le Comité en 1952 nous a été fourni par la Société Prolabo. Quelques installations accessoires ont été faites par l'atelier du Bureau. Je rappelle que ce dilatomètre est formé d'une enceinte à double paroi, en forme de U, d'une section intérieure de 6×7 cm. Le chauffage ou le refroidissement de cette enceinte sont assurés par une circulation d'eau dans la double paroi, la température de cette eau étant réglée dans une cuve séparée munie d'un thermostat. L'eau est chauffée par des résistances électriques; elle est refroidie par de la glace du commerce (1).

Les premiers essais que nous avons faits sont satisfaisants. L'uniformité de température dans la partie réservée au fil géodésique à étudier est assurée, à 40° C, à environ 2 ou 3 dixièmes de degré près. Dans l'ancien dilatomètre on constatait déjà vers 35° C des différences supérieures à 1 degré entre certains points de l'enceinte. Pour équiper cet appareil nous avons acquis deux nouveaux microscopes de la Société Genevoise.

La coulisse en fonte, en forme de V, de 1,30 m de longueur, que nous utilisons pour mesurer des étalons à bouts par la méthode des abouts tracés s'était un peu déformée. Elle a été rectifiée avec succès par la Société Genevoise.

Coulisse.

A. BONHOURE avait fait établir autrefois des abouts qui avaient été tracés au Bureau par moi-même. Leurs faces terminales présentaient des défauts de planéité qui rendaient difficile leur adhérence sur des plans et, par suite, la détermination de leur longueur à l'aide des interférences lumineuses n'était pas très sûre. Nous avons commandé des pièces semblables à la Société Genevoise qui, après un essai malheureux, nous a livré des abouts de haute qualité. Cependant, leurs surfaces terminales ne sont pas aussi bonnes que celles de certains calibres à bouts plans. Cela tient sans doute à la forme dissymétrique de ces pièces.

Abouts tracés.

J'ai signalé dans mon précédent Rapport que nous avons commandé cinq kilogrammes en platine iridié aux Établissements Johnson-Matthey à Londres. Outre le kilogramme n° 51 déjà attribué à la Pologne, trois autres ont été cédés respectivement

Masses.

(1) Voir Annexe 10, p. 167.

à la République Fédérale Allemande (n° 52), aux Pays-Bas (n° 53) et à la Turquie (n° 54), celui-ci en échange du Kilogramme n° 42 qui avait été détérioré (2).

En prévision de nouvelles demandes, nous avons fait établir par Johnson-Matthey un nouveau Kilogramme qui nous a été livré (n° 57).

Les valeurs, toujours très satisfaisantes, des densités déterminées sur ces Kilogrammes sont les suivantes :

N° 54.....	21,555 6 g/cm ³ à 0° C
N° 55.....	21,554 1 » »
N° 57.....	21,549 6 » »

Les analyses du platine, de l'iridium et de l'alliage de ces pièces, qui nous ont été communiquées par Johnson-Matthey, ont donné les résultats suivants, exprimés en pour cent :

Platine.

	N° 54.	N° 55.	N° 57.
Pd.....	0,001	0,001	0,002
Au.....	0,002	0,002	0,002
Ag.....	0,000 1	traces	traces
Cu.....	0,000 1	0,000 1	traces
Fe.....	traces	-	-
Si.....	traces	traces	-
Rh.....	-	-	0,002

Iridium.

Pd.....	traces	traces	traces
Rh.....	traces	traces	0,001
Ru.....	0,002	traces	-
Os.....	nul	nul	-
Pt.....	nul	traces	0,001

Alliage.

Pt.....	90,15	90,10	90,09
Ir.....	9,85	9,90	9,91

(2) Un Kilogramme en cours de construction par la Société Oertling, à Londres, et déjà partiellement étudié au Bureau International, a reçu le n° 56 (voir p. 31).

Des analyses effectuées par les Laboratoires Paul Dubois, à Paris, sur des échantillons prélevés par nous-mêmes sur ces trois Kilogrammes ont confirmé ces résultats.

L'ajustage des Kilogrammes n^{os} 54 et 55 a été effectué avec un plein succès par notre habile mécanicien R. HANOCQ, sous le contrôle de A. BONHOURE.

La série de masses divisionnaires en platine de 400 g à 1 mg, appelée O, n'était pratiquement plus utilisée. Les plus petites pièces, de 3 g à 1 mg, étaient constituées par de petites sphères comportant un méplat, ou des fils de différentes formes, très incommodes à manipuler. Nous avons fait remplacer ces pièces par des lamelles ayant un angle ou un côté relevé pour qu'on puisse les saisir facilement avec une pince. C'est la Société Prolabo qui a été chargée de ce travail.

Pour l'exécution des nouvelles mesures de la gravité que nous préparons, le Bureau a acquis un oscillateur à quartz à la fréquence de 100 kHz et un récepteur-comparateur destiné à la comparaison de cette fréquence à d'autres fréquences étalons de 100 ou de 200 kHz.

Récepteur-comparateur.

La mesure se fait au moyen d'un oscilloscope sur l'écran duquel un point lumineux se déplace le long d'une trajectoire circulaire. La vitesse de déplacement est proportionnelle à la différence des deux fréquences comparées.

Cet instrument a été mis au point par les Établissements « Ébauches S. A. », à Neuchâtel, qu'il convient de remercier vivement pour les conditions avantageuses qu'ils ont consenties au Bureau International afin de lui en faciliter l'achat.

Nous avons fait l'acquisition d'un baromètre Fuess, qui a été placé dans la salle des balances (salle 3). Il est analogue à celui que nous avons déjà et qui est maintenant affecté aux mesures interférentielles.

Baromètre.

Radiations du mercure 198, du krypton 84 et du krypton 86.

Interférométrie.

— Nous avons reçu du N. R. C. (Canada) un tube sans électrodes contenant 2 mg environ de mercure 198 et de l'argon sous une pression de 0,5 à 1 mm de mercure. La pureté du mercure 198 est 98 % ; la proportion de mercure 199 est 1,51 %. Le seul tube que nous avions auparavant, reçu du N. B. S. en octobre 1948, a été régénéré plusieurs fois par chauffage ; son allumage devient un peu moins facile.

La durée de vie des lampes à mercure 198 sans électrodes est largement influencée par la fréquence d'excitation. Un oscillateur permettant d'atteindre des fréquences et des puissances plus élevées a été construit pour remplacer l'ancien oscillateur de 100 MHz monté par J. TERRIEN en 1948. Ce nouvel oscillateur comporte une double tétrode QQE 06/40 et un résonateur du type Lecher. Ses dimensions réduites ont permis de placer le tube sans électrodes directement au-dessus du système Lecher où le champ électrique est maximum. On amorce la décharge comme auparavant par une bobine Tesla. La fréquence maximum de l'oscillateur est d'environ 500 MHz et sa puissance maximum de 70 W.

Nous avons reçu d'autre part, de la P. T. B., trois lampes à krypton 86 à cathode chaude, construites selon le modèle décrit aux *Procès-Verbaux du Comité International des Poids et Mesures*, t. XXIII-A, 1952, Annexe X, p. 165. Un cryostat à vide conforme aux plans du Docteur E. ENGELHARD a été acheté à O. Stannigel, en Allemagne, pour le refroidissement de ces tubes dans un gaz liquéfié à basse pression.

Le montage de notre lampe à cadmium a été amélioré afin de rendre plus facile et plus stable l'ajustage de la pression de l'air dans les tolérances indiquées par la Septième Conférence Générale des Poids et Mesures.

IV. — TRAVAUX.

*Mètres
prototypes.*

Le seul prototype national en platine iridié qui ait donné lieu à une vérification est le n° 23, que la Belgique a cédé à l'Allemagne. Ce prototype doit être effacé pour recevoir un tracé moderne. Avant de procéder à cette rénovation nous l'avons comparé à trois de nos étalons au moyen de notre comparateur à dilatation, c'est-à-dire sans avoir la possibilité de procéder au retournement des microscopes. Nous avons trouvé le résultat suivant :

$$\text{N}^{\circ} 23 = 1 \text{ m} - 1,44 \mu \text{ à } 0^{\circ} \text{ C.}$$

qui est en bon accord avec la mesure effectuée en 1932, laquelle avait conduit à $1 \text{ m} - 1,35 \mu$. Toutefois, ces valeurs s'écartent sensiblement de celle trouvée initialement, en 1889 ($1 \text{ m} - 0,96 \mu$). De plus, les résultats partiels obtenus actuellement par trois observateurs présentent entre eux de notables écarts incontestables.

blement dus à la qualité médiocre des traits anciens. Il nous a été possible de vérifier que ceux-ci manquaient totalement d'ébarbage et qu'en procédant à cette opération leur qualité était nettement améliorée. La rébarbe qui subsiste sur les traits anciens a non seulement pour inconvénient de leur donner une apparence irrégulière qui rend les pointés difficiles, mais aussi elle leur confère une vulnérabilité dangereuse. Les variations anormales observées sur quelques Mètres de 1889 peuvent certainement s'expliquer par le fait que la rébarbe des traits s'est modifiée, ou cassée, sous l'influence des nettoyages, même délicatement effectués.

En vue de contrôler les valeurs relatives des prototypes d'usage du Bureau, diverses comparaisons ont été effectuées en 1953.

a. Comparaison de n° 26 et T 3. Ces mesures ont été effectuées au voisinage de 0° C, quoique le comparateur Brunner ne soit pas bien adapté aux mesures faites à une température autre que l'ambiante. Elles ont conduit au résultat suivant :

Observateurs.	N° 26-T 3.
H. MOREAU	— 2,23 μ
G. LECLERC	— 2,27
Moyenne	— 2,25 μ à 0° C

L'équation relative admise pour ces deux Mètres est

$$\text{N° 26-T 3} = -2,34 \mu.$$

b. Intercomparaison en série fermée de n° 26, T2 et T3, au voisinage de 20° C, par trois observateurs; les résultats ramenés à 0° C et compensés par observateur sont :

Observateurs.	N° 26-T 3.	T 3-T2.	T 2-N° 26
A. BONHOURE	— 2,15 μ	— 2,88 μ	+ 5,03 μ
H. MOREAU	— 2,17	— 2,96	+ 5,13
G. LECLERC	— 2,17	— 2,92	+ 5,09
Moyenne	— 2,16 μ	— 2,92 μ	+ 5,08 μ à 0° C

L'écart maximum par rapport aux équations relatives admises est de + 0,4 μ pour T 2-N° 26. Des écarts aussi grands ont déjà été observés lors de comparaisons dans lesquelles intervient le Mètre T 2, dont les traits sont défectueux.

c. Intercomparaison en série fermée de nos 13, 13 C, 19, 26 et T 4, au voisinage de 20°C, par quatre observateurs. Les résultats de ces mesures ont été présentés en septembre 1953 et publiés dans les *Procès-Verbaux du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre* (voir ce volume, p. M 100). Les Mètres nos 13 et 19 avaient été extraits du caveau des Prototypes grâce à l'autorisation donnée par le bureau du Comité.

d. Intercomparaison de n° 26, T 2 et T 4 au voisinage de 19°C, par deux observateurs encore peu exercés; les résultats réduits à 0°C sont :

Observateurs.	N° 26-T 4.	T 2-T 4.	T 2-N° 26.
J. BONHOURE.....	+ 1,28 μ	+ 6,25 μ	+ 4,97 μ
K. YOSHIE.....	+ 1,24	+ 6,44	+ 5,19
Moyenne.....	+ 1,26 μ	+ 6,35 μ	+ 5,08 μ à 0°C

Nous tirons une fois de plus de ces diverses comparaisons la conclusion que la précision du dixième de micron est réelle, mais qu'elle ne peut être obtenue qu'avec une méthode assurant une symétrie absolue des observations et lorsqu'elle s'applique à des Mètres dont les traits ont été exécutés avec le plus grand soin. Des recherches entreprises par la Société Genevoise nous laissent espérer que l'étude de la forme du sillon constituant le trait pourra bientôt être faite. Il sera ainsi possible de procéder au contrôle préalable de l'identité des différents traits d'un Mètre.

Longueurs
diverses.

Règles. — L'équation de la règle S. I. P. n° 4756, en acier à 58 % de nickel, appartenant au National Standards Laboratory d'Australie, a été déterminée, ainsi que son coefficient de dilatation. L'étalonnage des traits décimétriques de cette règle, effectué au Bureau International par le moyen habituel du microscope visuel, concorde à mieux que 0,1 μ avec l'étalonnage photoélectrique exécuté par la Société Genevoise. L'accord déjà obtenu sur d'autres règles étalonnées par les deux méthodes est ainsi vérifié une fois de plus.

L'équation de la règle en acier n° 380, étalon à bouts et à traits, appartenant à la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, a été mesurée en collaboration avec le Docteur E. ENGELHARD.

J'ai signalé dans mon précédent Rapport (*Procès-Verbaux*, t. XXIII-A, 1952, p. 38) que la comparaison d'une règle en acier

du même type, avait été faite dans un bain d'huile de paraffine en raison de l'oxydabilité du métal. Nous avons utilisé, pour cette nouvelle comparaison, une solution aqueuse à 4 % de carbonate de soude anhydre. L'emploi de cette solution anticorrosive nous a donné satisfaction et nous a paru préférable à l'huile de paraffine.

Les résultats obtenus ont été les suivants, à 20° C :

$$\begin{aligned} \text{N}^{\circ} 380 &= 1 \text{ m} + 174,09 \mu && (\text{H. MOREAU, d'après n}^{\circ} 13 \text{ C}) \\ &= \underline{1 \text{ m} + 173,86} && (\text{E. ENGELHARD, d'après n}^{\circ} 26) \\ \text{Moyenne} &= 1 \text{ m} + 173,97 \mu \end{aligned}$$

Les traits du Mètre n° 380 sont bons, mais ils ne sont pas identiques ni rigoureusement parallèles, ce qui peut expliquer en partie la divergence de ces résultats.

Trois règles anciennes du National Research Council du Canada : n° 94 en nickel, n° 169 en invar et n° 133 en acier à 43 % de nickel, ont été étudiées après avoir été repolies et tracées par la Société Genevoise. Les comparaisons ont été faites au comparateur Brunner. On a trouvé, à 20° C :

	Par T 3 (H. MOREAU).	Par N° 26 (G. LECLERC).	Δ.
N° 94.....	1 m + 252,53 μ	1 m + 252,28 μ	— 0,25 μ
N° 169.....	1 m + 0,72	1 m + 0,58	— 0,14
N° 133.....	1 m — 1,39	1 m — 1,40	— 0,01

L'équation de la règle n° 94, ramenée à 0° C, est

$$1 \text{ m} + 0,11 \mu \quad 1 \text{ m} - 0,13 \mu$$

L'écart pour la règle n° 94 paraissant un peu fort, on a fait une comparaison de contrôle à 0° C, qui est sa température d'ajustage. On a obtenu alors :

	Par T 3 (H. MOREAU).	Par N° 26 (G. LECLERC).
N° 94.....	1 m + 0,12 μ	1 m + 0,13 μ

On a aussi mesuré les coefficients de dilatation de ces trois règles, ainsi que la position des traits décimétriques de la règle n° 133.

Une autre règle n° 70-52 de 50 cm, en acier à 58 % de nickel, a été étudiée pour le même Laboratoire canadien. On a mesuré sa longueur et son coefficient de dilatation.

Nous avons déterminé la longueur et la position des traits décimétriques de la règle S. I. P. n° 3426 de 508 mm, à la demande des « Chantiers de Penhoët » (France).

Étalons à bouts. — La Société « La Précision Mécanique », de Paris, nous a demandé de déterminer la longueur de deux broches en acier à bouts sphériques, de 1 m de longueur, destinées à circuler dans plusieurs établissements industriels français, dans le but d'évaluer la précision réelle atteinte par les mesures effectuées dans leurs ateliers.

Ces deux broches ont été comparées par A. BONHOURE à notre broche A. P. 1897-R-1000, à l'aide de la machine à mesurer du Bureau.

Cet étalon du Bureau International a lui-même fait l'objet de deux déterminations absolues, l'une en novembre 1953 à l'aide des interférences lumineuses par J. HAMON, et l'autre à l'aide de nos nouveaux bouts, en janvier 1954, par A. BONHOURE. On a trouvé les résultats suivants, à 20° C :

Par les interférences.....	1 m + 210,17 μ (poids 3)
Par les bouts.....	1 m + 209,76 (poids 1)
Moyenne pondérée.....	1 m + 210,07 μ

La concordance de ces nombres peut être considérée comme satisfaisante eu égard à la difficulté des mesures.

Je rappelle que les valeurs successivement trouvées pour la broche A. P. 1897-R-1000 sont :

1896/1900.....	1 m + 210,29 μ à 20° C
1909.....	+ 210,98
1913.....	+ 210,80
1933.....	+ 210,64
1953/1954.....	+ 210,07

Deux broches de 0,5 et 1 m, cédées par le Bureau International au Laboratoire Central de l'Armement, ont été préalablement mesurées à l'aide des bouts par A. BONHOURE.

Deux Mètres en silice à bouts sphériques, appartenant à l'Institut Géodésique de Finlande, et dont la longueur venait d'être déterminée à l'aide des interférences lumineuses (voir Annexe 9, p. 160) ont été également mesurés par la méthode des bouts.

Cette méthode a fourni des résultats décevants dans ce cas

particulier, malgré le soin qui a été apporté aux mesures. Cela tient probablement à la très faible courbure de l'une des extrémités de ces Mètres ($r = 5 \text{ m}$), qui rend incertain le contact avec la surface plane des abouts.

Règles et fils géodésiques. — J'ai rendu compte, dans mon précédent Rapport, des comparaisons de fils géodésiques de 24 m en invar, qui avaient été effectuées à Helsinki et à Sèvres, au cours des années 1951 et 1952, par des méthodes différentes. Elles avaient conduit à des résultats assez satisfaisants, mais qui révélaient cependant une différence systématique de 29μ en moyenne, soit environ 1,2 millionième de la longueur mesurée. Un examen critique de notre méthode et nos expériences concernant l'influence de la position des fils sur la base, le mode d'observation des traits des règles, etc., n'avaient pas permis de rapprocher les résultats des deux Laboratoires. Nous avons voulu rechercher si l'emploi à Helsinki de rubans d'acier (épaisseur : 0,17 mm) et à Sèvres de cordons en coton pour transmettre aux fils la traction de 10 kilogrammes-force (98,1 newtons), avait une influence sur leur longueur. Nous avons trouvé les fils plus longs de 9μ en moyenne lorsque nous utilisions les rubans d'acier.

Cet écart s'accorde bien avec celui qu'on avait déduit d'une série de mesures antérieures faites avec les mêmes cordons et avec un ruban d'acier plus mince (0,07 mm) mais un peu plus large. On avait alors trouvé une différence de 7μ dans le même sens.

Ces résultats sont de nature à rapprocher un peu les valeurs des fils déterminés à Sèvres et à Helsinki. Le désaccord ne serait plus que de $0,9 \cdot 10^{-6}$, les fils paraissant plus longs à Helsinki qu'à Sèvres.

Les mesures que nous effectuons sur notre base géodésique dépendent de la règle de 4 m, I_3 , en invar, dont nous nous efforçons de déterminer la longueur au moins une fois chaque année. Les mesures exécutées en novembre 1952 et en novembre 1953 par A. BONHOUR et G. LECLERC ont montré qu'après la période de relative stabilité que j'avais signalée dans mon précédent Rapport, l'évolution de cette règle se poursuit. Son allongement annuel moyen est de 1μ , compté depuis sa première détermination en 1911.

La mesure de la règle I_3 nécessite au préalable celle de la règle NI en invar qui sert à l'étalonner mètre par mètre. La

remarquable stabilité de cette règle N 1, qui reste toujours inexplicée, a été encore confirmée par nos dernières mesures.

La dilatation de deux fils d'invar de 24 m de longueur a été étudiée avec l'ancien dilatomètre et avec le nouveau. Les mesures ont été faites à des températures comprises entre 17 et 34° C dans le premier appareil et entre 7 et 39° C dans le second. L'intervalle de température a été ainsi presque doublé, malgré les conditions de refroidissement défavorables qui règnent en été. On a obtenu les résultats ci-après, dont on ne peut tirer encore aucune conclusion en raison de leur petit nombre :

Coulée 68 560 (avant recuit).

	Ancien dilatomètre $\alpha_{25}, 10^6$.	Nouveau dilatomètre $\alpha_{25}, 10^6$.
Echantillon n° 1.....	— 0,629	— 0,605
» n° 2.....	— 0,708	— 0,712

Les déterminations d'étalons géodésiques ont toujours constitué une part importante de l'activité du Bureau International depuis sa fondation. A. BONHOURE, qui en a actuellement la responsabilité, est secondé pour les mesures par G. LECLERC et G. GIRARD, et pour les calculs par C. GARREAU. Au cours des deux dernières années, les demandes d'étude ont porté sur 95 fils ou rubans géodésiques de différentes longueurs (4, 5, 6, 8, 12, 20, 24, 48 et 50 m), appartenant à des organisations officielles ou privées de la République Argentine, d'Autriche, de France, du Pakistan, du Portugal, de Suisse, de Turquie et de Yougoslavie.

*Masses
et Densités.*

Kilogrammes prototypes et étalons. — On a procédé en mai-juin 1953 aux intercomparaisons d'un groupe de prototypes comprenant les Kilogrammes n° 41 (Tchécoslovaquie), nos 53, 54, 55 (nouveaux prototypes) et les Kilogrammes témoins nos 32 et 43 du Bureau International.

Les 15 comparaisons possibles entre ces Kilogrammes pris deux à deux, ont été effectuées avec la balance Rueprecht n° 1 et ont conduit, après compensation, aux valeurs suivantes :

	1929.	1953.	Δ .
N° 41.....	1 kg + 0,504 mg	1 kg + 0,559 mg	+ 0,055 mg
N° 53.....	—	+ 0,085	—
N° 54.....	—	+ 0,160	—
N° 55.....	—	+ 0,208	—

La valeur du Kilogramme n° 41, trouvée en 1929, résultait de comparaisons faites avec les Kilogrammes nos 14 et 33 (Autriche), détruits pendant la dernière guerre, et le n° 31 (Bureau International), qui seul servit de référence. Les Kilogrammes n'avaient pas été lavés à la vapeur comme nous le faisons maintenant. Ces considérations peuvent expliquer la différence assez forte que l'on observe entre les résultats de 1953 et de 1929. La valeur actuelle est sans doute la plus sûre. Elle s'appuie sur deux témoins, le nombre des comparaisons est plus grand et les règles appliquées maintenant au nettoyage des prototypes sont mieux définies.

L'élaboration des nouveaux Kilogrammes en platine iridié que j'ai signalée au commencement de ce Rapport a nécessité la détermination de leur densité avant leur ajustage.

La Société Oertling, de Londres, a été chargée de fournir au Gouvernement de l'Afrique du Sud un Kilogramme en platine iridié et cinq Kilogrammes en nickel-chrome. Nous avons donné toutes les indications nécessaires au constructeur pour que l'étalon en platine iridié présente les mêmes caractéristiques que celles des prototypes qui ont été distribués jusqu'à maintenant par le Bureau International. Des mesures de densité ont été faites sur un premier cylindre dont l'ajustage a été interrompu par un accident. Un nouveau cylindre destiné à le remplacer a été étudié dans les mêmes conditions. L'étude des cinq Kilogrammes en nickel-chrome a été faite partiellement par le Bureau International.

Comparaisons internationales de la densité d'un cylindre. — J'ai dit dans mon précédent Rapport que nous nous proposons de faire circuler entre les Laboratoires de Métrologie un cylindre en acier inoxydable, d'une masse voisine de 1 kg, afin que sa densité soit déterminée par ces Laboratoires. La comparaison des résultats donnera des indications sur la précision réelle de ces mesures délicates.

Le cylindre utilisé a été, jusqu'à présent, étudié au Bureau International, puis à Berlin (P. T. R.), et à Moscou (Chambre Centrale des Mesures et Instruments de Mesure). Voici les résultats qui ont été obtenus en utilisant les tables de densité de l'eau de CHAPPUIS :

Dates.	Laboratoires.	Densité à 0° C.
juin 1952.....	B. I. P. M.	7,839 67 g/cm ³
été 1952.....	P. T. R.	7,839 63 »
mars-mai 1953.....	C. C. M. I. M.	7,839 72 »
octobre 1953.....	B. I. P. M.	7,839 68 »

Masses diverses. — Nous avons effectué l'étude complète (densité et masse) d'un Kilogramme (n° 21) en acier inoxydable appartenant à la République Dominicaine.

Le Service des Poids et Mesures des Pays-Bas nous a, de son côté, demandé l'étude de quatre Kilogrammes en acier inoxydable (A, 1, 2, 3). Ces pièces ayant été prélevées sur la même barre de métal, on n'a déterminé la densité que du Kilogramme A seulement.

A. BONHOUR est toujours chargé de la Section des masses, mais G. GIRARD lui apporte une aide croissante et appréciée. En dehors des très nombreux calculs qu'il a exécutés, celui-ci a effectué presque en totalité, au cours des deux dernières années, les études suivantes :

1° Étalonnage de la série O modifiée, en platine iridié, dont j'ai parlé dans la première partie de ce Rapport et qui constitue notre seconde série divisionnaire de premier ordre après la série Oe.

2° Étalonnage de deux séries de masses en acier inoxydable, de 100 g à 1 g appartenant à « Becker's sons », à Brummen (Pays-Bas) et d'une série en laiton et en nickel de 200 g à 1 mg appartenant à l'Institut Supérieur de la Santé, à Rome.

3° Détermination de la masse de quatre pièces en baros de 500, 100, 50, 1 g et de quatre pièces en platine de 100, 50, 10, 5 mg pour le Bureau des Poids et Mesures, à Prague.

4° Détermination de la masse d'une pièce en platine de 100 g de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, à Braunschweig.

Projet de détermination de la densité relative du mercure et de l'eau. — Je signale encore les préparatifs que nous avons faits en vue de déterminer la densité relative du mercure et de l'eau à 17,7°C. Le fait qu'à cette température les deux liquides ont le même coefficient de dilatation m'a paru pouvoir donner l'occasion de faire une mesure très précise. J'utilise pour cela deux picnomètres d'environ 500 cm³. L'un est rempli de mercure et l'autre d'eau. Ils sont amenés à la même température dans un bain et l'on fait la lecture de la hauteur des liquides. On pèse alors les picnomètres. Ensuite, le picnomètre qui contenait du mercure est rempli d'eau et inversement, puis on répète les opérations précédentes. Des précautions sont prises pour éviter la déformation des picnomètres sous l'influence de la pression.

Pour cela, pendant l'observation de la hauteur du liquide, on exerce à l'extérieur du picnomètre une pression égale à la pression intérieure. Ces expériences, combinées avec celles que nous projetons d'exécuter sur la densité de l'eau et avec celles qui sont en cours par ailleurs sur la densité du mercure, permettront d'obtenir de nouvelles et précieuses informations sur ces deux constantes si importantes pour la métrologie.

Thermomètres en quartz fondu. — Le Bureau International possède actuellement cinq thermomètres à mercure en quartz fondu d'une qualité satisfaisante. L'un d'eux, qui couvre l'intervalle de 0 à 100°C, présente toutefois des corrections de calibre qui atteignent une valeur excessive (0,7 degré); l'importance de ces corrections s'explique par la grande longueur de la tige thermométrique (près de 60 cm), qui rendait très difficile l'obtention d'un tube capillaire de section suffisamment uniforme. *Thermométrie.*

Les écarts (différence de marche) entre l'échelle du thermomètre à mercure en quartz fondu et l'échelle normale du thermomètre à hydrogène représentée par nos thermomètres à mercure étudiés par CHAPPUIS, ont été déterminés sur un thermomètre dans l'intervalle de 0 à 50°C. Les résultats provisoires ont été communiqués au Comité Consultatif de Thermométrie de juillet 1954 (*voir* ce volume, p. T 182). Ces mesures doivent être reprises et étendues jusqu'à 100°C dès que les thermomètres, actuellement au National Physical Laboratory, seront de retour au Bureau International.

Études courantes. — En dehors du contrôle périodique de nos thermomètres étalons, nous avons effectué l'étude complète ou partielle de six thermomètres à mercure destinés à l'Institut Français du Pétrole (2), au Gaz de France (2) et au Gouvernement Yougoslave (2).

L'étude de certains de ces thermomètres en verres d'Iéna 16^{III} (réservoir) et N 39 (tige) a confirmé les différences déjà constatées entre les échelles « Iéna 16^{III}-verre vert » et « Iéna 16^{III}-N 39 » (*Procès-Verbaux*, t. XXIII-A, 1952, p. 50).

Ces différences, qui avaient paru anormales étant donné que le verre N 39 et le « verre vert » ont sensiblement les mêmes propriétés, ont été expliquées : les thermomètres en « 16^{III}-N 39 » fabriqués actuellement subissent un traitement thermique (recuit vers 450°C) qui n'avait pas été appliqué aux thermomètres en « 16^{III}-verre vert » utilisés vers 1930 pour déterminer les

corrections de différence de marche par rapport à l'échelle normale de température [*Comparaisons de thermomètres étalons (Travaux et Mémoires, t. XX, 1944)*].

Ces observations confirment l'influence du recuit sur la dépression du « point zéro » et sur l'échelle des thermomètres à mercure. Elles rappellent toute l'attention qu'il convient d'apporter à cette question pour obtenir des instruments de haute précision.

Pour toutes ces études, H. MOREAU a été aidé par J. BONHOUR et G. GIRARD.

Un thermomètre à résistance de platine à fils de compensation, accompagné de son pont de mesure Callendar et Griffiths, appartenant à la « Manufacture française des Pneumatiques Michelin », a été étalonné aux points 0, 100 et 444,6°C. Cette étude, effectuée par M. GAUTIER avec beaucoup de difficultés, a confirmé l'urgence qu'il y a à rénover nos installations dans ce domaine.

Thermistances. — Les thermistances sont des résistances thermosensibles à grand coefficient de température (jusqu'à dix fois celui des métaux purs au voisinage de 20°C). Elles sont constituées d'oxydes métalliques et peuvent présenter une grande résistance (10⁸ Ω par exemple) sous un très faible volume (grosseur d'une tête d'épingle).

Nous avons pensé que ces thermistances pourraient servir avantageusement en thermométrie et en calorimétrie de précision, aussi avons-nous décidé d'entreprendre une étude systématique de leurs qualités métrologiques : fidélité, stabilité dans le temps, hystérésis, etc.

Ce travail, confié à G. LECLERC, n'est pas encore terminé; cependant, nous en avons communiqué les premiers résultats au Comité Consultatif de Thermométrie de juillet 1954 (*voir ce volume, p. T. 185*).

En utilisant ces thermistances, qui sont particulièrement adaptées à la mesure des faibles écarts de température, G. LECLERC a exécuté les déterminations suivantes :

a. Différence entre le point triple de l'eau et le point de fusion de la glace. Quatre mesures ont donné les résultats suivants : + 0,009 9; + 0,009 8; + 0,009 8; + 0,010 0 degré.

b. Comparaison des températures du point de fusion de la glace réalisé dans un appareil classique et dans un appareil

spécial à enveloppe métallique et à circulation d'eau permanente. L'écart, bien que systématique (le second appareil conduisant toujours à une valeur plus élevée), ne dépassa jamais 0,0005 degré.

Notre baromètre Fuess servant aux mesures interférentielles a été placé dans la salle même des expériences et a été réétalonné par rapport au baromètre normal.

Manométrie.

Un manobaromètre a été étalonné entre 18 et 760 mm de mercure, à la demande des « Établissements Jaeger » à Levallois-Perret.

Les préparatifs, dont j'ai déjà parlé au Comité dernier, en vue d'une deuxième mesure absolue de la pesanteur ont été poursuivis par A. THULIN et conduiront bientôt à des expériences définitives. Notre attention s'est portée sur l'observation des microséismes et vibrations diverses dont E. RIECKMANN, à Braunschweig, a justement signalé l'intérêt. Un sismographe enregistrant la composante verticale a été installé. Il est constitué d'un pendule aimablement prêté par l'Institut de Physique du Globe à Paris et d'un enregistreur photoélectrique construit au Bureau International.

Gravité.

Avec le concours très apprécié du Laboratoire Central de l'Armement, nous étudions un dispositif provoquant le déclenchement rigoureusement rythmé des éclairs dans un tube à krypton; nous employons dans ce but un thyatron à hydrogène en série avec la source haute tension et le tube. Pour cette étude, nous avons réalisé au Bureau International un redresseur pouvant fournir 100 mA sous 25 000 V, ainsi qu'un oscillographe pour la photographie ultra-rapide. Les éclairs ont une durée inférieure à 0,2 μ s, alors qu'elle était de plusieurs microsecondes dans ma première détermination de g .

Comparaisons internationales. — Conformément à la décision prise par le Comité dans sa session de 1952, les comparaisons internationales des étalons de résistance et de force électromotrice ont eu lieu pendant le deuxième semestre de 1953. Neuf Laboratoires étaient représentés :

Électricité.

Deutsches Amt für Mass und Gewicht, Berlin;
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig;
National Research Council, Ottawa;
National Bureau of Standards, Washington;
Laboratoire Central des Industries Électriques, Fontenay-aux
Roses;

National Physical Laboratory, Teddington;
Electrotechnical Laboratory, Tokyo;
Institut de Métrologie de l'U. R. S. S., Léninegrad;
Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres.

Tous les étalons étaient arrivés au Bureau International à la date prévue (1^{er} juin 1953), sauf ceux du D. A. M. G., qui n'ont pu être apportés qu'en septembre. Cependant, les modifications que nous avons dû faire à nos installations nous ont empêchés de commencer les mesures immédiatement. De plus, un très violent orage a provoqué des chutes d'eau dans la salle et il nous a fallu remettre complètement en état l'installation de mesure des résistances. Fort heureusement, les mesures ultérieures ont montré que les étalons n'avaient nullement souffert.

Le nombre des Laboratoires représentés était plus grand que lors des comparaisons précédentes; le schéma adopté jusqu'ici aurait par suite conduit à un nombre excessif de comparaisons qui se seraient échelonnées sur une période de temps trop longue, préjudiciable à la précision des résultats finaux. Pour cette raison, on a utilisé un schéma plus simple et les comparaisons n'ont été effectuées que par un seul observateur (M. GAUTIER). Dans le cas des résistances, on n'a mesuré que deux résistances par Laboratoire, afin de donner le même poids à chacun de ceux-ci; cette dernière façon d'opérer doit être considérée comme exceptionnelle et une entente devra être réalisée entre le Bureau International et les Laboratoires nationaux sur le nombre des étalons de résistance qui devront intervenir dans les comparaisons internationales futures.

Comme en 1950, les étalons envoyés par le D. A. M. G. étaient des bobines à deux bornes, et l'examen des résultats montre que ce type d'étalon introduit des erreurs de quelques microhms, soit environ dix fois supérieures à la définition des autres étalons. Dans un cas semblable, il conviendrait d'inclure ces étalons dans les comparaisons de façon qu'ils ne puissent perturber les résultats des mesures. Actuellement, nous n'avons pas encore reçu toutes les valeurs des étalons voyageurs après leur retour dans leur Laboratoire d'origine. Dès que ces valeurs nous seront parvenues, nous établirons les Rapports donnant les résultats de ces comparaisons (*).

(*) Ces Rapports ont été établis en octobre 1954; voir Annexes 6, p. 138 et 7, p. 147.

Étude des étalons sédentaires. — En dehors des comparaisons internationales, l'activité de la Section d'électricité est concentrée sur l'entretien et l'étalonnage de ses propres instruments (pont double, potentiomètre, etc.) et de ses étalons. Ces travaux, qu'il est nécessaire d'effectuer chaque année, sont toujours longs.

D'après une étude de M. GAUTIER sur le comportement de nos étalons de résistance depuis 1947 (⁴), ceux-ci évoluent de façon tout à fait satisfaisante suivant une loi approximativement linéaire. La variation annuelle de ces étalons est la suivante, la moyenne des quatre premiers (groupe GO'3) étant prise comme référence fixe :

GO'3	$\left\{ \begin{array}{l} \text{E(52)} \\ \text{LN(63)} \\ \text{N(717)} \\ \text{S(83)} \end{array} \right.$	.....	— 0,11 $\mu\Omega$ par an		
		.....	— 0,15		
		.....	+ 0,26		
		.....	— 0,01		
N(722)	.....	— 0,05	R(3751)	.....	— 0,56
N(723)	.....	— 0,30	N(643)	.....	— 0,98
S(86)	.....	— 0,16	M(9)	.....	— 1,17
S(87)	.....	— 0,02	M(12)	.....	— 1,54

Il résulte de cette étude que les résistances N(722) et S(86) possèdent, au même titre que les résistances du groupe GO'3, les qualités nécessaires pour constituer des étalons de premier ordre. On pourrait donc les adjoindre à notre groupe de référence, qui serait composé ainsi de six étalons excellents au lieu de quatre. Il convient d'ailleurs de noter que le groupe GO'3 n'a été constitué que pour maintenir une unité au Bureau International pendant la dernière guerre, alors que nous étions coupés de toute relation avec l'extérieur; mais, depuis 1952, ce groupe définit une unité au même titre que ceux des autres Laboratoires nationaux.

Études pour l'extérieur. — La Section d'électricité a étudié un étalon de résistance n° 7516 pour la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, Berlin-Charlottenburg, et quatre éléments Weston appartenant à l'Institut de Métrologie de l'U. R. S. S. Elle a aussi procédé à la vérification périodique des étalons électriques de la Section de photométrie.

(⁴) Voir Annexe 8, p. 156.

Amplificateur de déviations et enregistreur à servomécanisme. — Une étude originale de l'amortissement d'un galvanomètre par voie photoélectrique a été faite par A. THULIN. Il en est résulté la mise au point d'un *amplificateur photoélectrique des déviations d'un spot de galvanomètre*. Ce dispositif, en plus d'une sensibilité très élevée et d'une bonne linéarité, présente l'avantage que son étalonnage est indépendant des variations de l'éclairement et de la sensibilité de la cellule employée. L'appareil ne comporte aucune amplification électronique et aucune contre-réaction avec le galvanomètre primaire; il est adaptable à tout instrument conçu pour la lecture à l'aide d'un spot lumineux. Avec ce détecteur de déplacements, il est possible de modifier l'amortissement d'un galvanomètre sans influencer sa sensibilité, simplement en reliant ce dernier au détecteur à l'aide de condensateurs à fort isolement. Ce détecteur est basé sur l'emploi d'une cellule photorésistante, spécialement mise au point avec le concours de la Société « La Radio-Industrie », et comportant une couche évaporée de CdS activé munie de trois contacts.

Ce type de cellule à trois contacts a en outre permis la réalisation d'un *enregistreur photoélectrique à servomécanisme* constituant un suiveur de spot, qui est susceptible de rendre de bons services dans un grand nombre de cas. L'enregistreur comporte une cellule photorésistante et un style encreur montés sur un chariot entraîné par un servomoteur, qui est lui-même relié à la cellule par l'intermédiaire d'un amplificateur de puissance. La cellule et le style suivent ainsi les déplacements du spot lumineux projeté sur la cellule. Des vitesses d'inscription allant jusqu'à plusieurs mètres par seconde ont pu être réalisées.

Photométrie.

Lampes étalons. — Après l'achèvement des comparaisons internationales de 1950-1952, le Bureau International s'est activement occupé de constituer une réserve de lampes étalons d'intensité et de flux lumineux, répondant aux caractéristiques recommandées par le Comité Consultatif de Photométrie, afin de pouvoir satisfaire les demandes qui lui sont adressées.

Ces lampes ont été construites par la « Compagnie des Lampes » (Mazda) à Paris. Les ampoules destinées aux lampes d'intensité lumineuse ont été soigneusement sélectionnées par nos soins avant tout montage; cette sélection avait pour but de repérer sur la paroi des ampoules la région la meilleure pour le passage

de la lumière et de rejeter toute ampoule défectueuse. Pour les étalons à filament de tungstène, nous avons été conduits ultérieurement à modifier le montage du filament afin d'obtenir une intensité lumineuse voisine de 30 cd, conformément aux spécifications adoptées en 1952 par le Comité Consultatif de Photométrie. On a également fait établir dernièrement une quarantaine de lampes d'intensité lumineuse plus forte (70 et 120 cd), du même type.

Avant toute étude, les étalons d'intensité lumineuse sont également l'objet d'un contrôle de la répartition de l'intensité lumineuse autour de la direction normale d'utilisation. Ce contrôle est maintenant effectué photoélectriquement, avec enregistrement automatique de la répartition, à l'aide du suiveur de spot de A. THULIN mentionné ci-dessus.

Étalonnages photométriques. — Plus de 150 étalons d'intensité et de flux lumineux ont été formés, réglés en température de couleur et étalonnés en candelas et lumens moyens (unité 1952). La répartition des lampes déjà attribuées à des Laboratoires ou Services nationaux s'établit comme suit :

	Intensité lumineuse.		Flux lumineux.	
	2042° K.	2353° K.	2353° K.	2788° K.
P. T. R. Berlin.....	-	-	4	4
I. E. N. Turin.....	-	-	3	3
Gouvernement Australien.	-	-	1	-
N. S. L. Sydney.....	6	6	6	6
N. R. C. Ottawa.....	6	6	-	-
Poids et Mesures,				
Lisbonne.....	-	5	5	-
Faculté d'Électro-				
technique, Istanbul....	5	5	5	5

Une cinquantaine de lampes ont été attribuées au Bureau International; le restant constitue une réserve.

Ces étalonnages ont été effectués en majeure partie par J. BONHOUR et aussi par H. MOREAU, K. YOSHIÉ et F. LESUEUR.

Des lampes neuves, non étalonnées, ont été également fournies aux Laboratoires suivants : National Bureau of Standards (U.S.A.), Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Allemagne), National Standards Laboratory (Australie), National Research Council (Ottawa), Service de la Métrologie (Belgique), Electrotechnical

Laboratory (Japon), Istituto Elettrotecnico Nazionale (Italie), Conservatoire des Arts et Métiers (France), ainsi qu'à quelques Laboratoires privés.

Intercomparaison d'étalons de flux entre le N.B.S., le N.P.L. et le B.I.P.M. — Afin de rechercher les causes des divergences constatées entre les unités de flux lumineux à 2788°K du N.B.S. et du N.P.L., un groupe de quatre lampes à atmosphère gazeuse de 300 W, appartenant au N.P.L., a été mesuré dans ces deux Laboratoires et au B.I.P.M.

Les mesures effectuées au B.I.P.M. sont en excellent accord avec celles du N.P.L. et confirment à 0,1 % les résultats obtenus lors des comparaisons internationales de 1950-1952 pour la valeur relative de l'unité de flux N.P.L. à 2788°K. Par contre, les mesures au N.B.S. font apparaître de nouveau la différence d'environ 2 % qui avait été signalée dans le *Rapport sur la première comparaison des étalons nationaux d'intensité et de flux lumineux (Procès-Verbaux du Comité International, t. XXIII-B, 1952, p. P 71)*.

La cause de ce désaccord reste encore à déterminer.

Projet de comparaisons internationales d'étalons de température de couleur. — En 1952, le Comité Consultatif de Photométrie recommandait que soit examinée la possibilité d'organiser des comparaisons internationales d'étalons de température de couleur qui seraient confiées au Bureau International. Le Comité International a approuvé cette recommandation dans sa session de 1952.

Afin de recueillir les avis des Laboratoires nationaux sur l'opportunité et les modalités d'exécution de telles comparaisons, une enquête est actuellement en cours. Tous les Laboratoires consultés se sont montrés favorables à l'organisation de ces comparaisons. L'enquête se poursuit afin de réaliser un accord sur le type de lampe, les températures de couleur et la méthode de mesure qui seront retenus pour l'exécution de ces comparaisons suivant un plan analogue à celui qui est déjà adopté pour les comparaisons des étalons nationaux d'intensité et de flux lumineux.

Photométrie hétérochrome de précision. — La comparaison hétérochrome des étalons de flux à 2788°K aux étalons de flux à 2353°K, par la méthode spectrophotométrique mise au point par J. TERRIEN, avait conduit en 1952 au résultat suivant : le

lumen à 2 353°K étant pris comme base de référence, le lumen à 2 788°K représenté par la moyenne des étalons des Laboratoires nationaux serait trop petit de 1,3% (*Procès-Verbaux du Comité Consultatif de Photométrie*, 1952, Annexe P 8, p. P 124).

K. YOSHIE a répété ces expériences avec une cellule plus sensible, après remise à neuf des six miroirs du monochromateur double. Trois lampes à atmosphère gazeuse ont été sélectionnées pour leur stabilité. Tous les appareils ont été étalonnés avant et après la mesure; la linéarité de la cellule a été contrôlée en lumière blanche et en lumière colorée. On a vérifié que le facteur de réflexion de la peinture de la sphère de 50 cm ne changeait pas en fonction de la puissance électrique dissipée à l'intérieur. Ces mesures, mieux préparées qu'en 1952 grâce à l'expérience acquise, ont donné en effet des résultats plus reproductibles; mais ils diffèrent des résultats antérieurs d'une quantité un peu plus grande que les erreurs estimées. On a trouvé encore que le lumen moyen à 2788°K serait trop petit, l'écart étant cette fois de 2,1%.

Les mêmes mesures spectrophotométriques permettent aussi un contrôle des températures de couleur; l'étalon à 2 353°K étant pris comme référence, on trouve alors 2 804°K pour l'étalon dont la température de couleur admise est 2 788°K. Rappelons qu'en 1952 on avait obtenu une bonne concordance entre la température admise et celle qui est calculée. L'étude de ces questions sera continuée.

K. YOSHIE a également étudié les propriétés de quelques récepteurs photoélectriques récemment acquis (photomultiplicateurs, cellules à vide à cathode semi-transparente).

Comparaisons de longueurs d'onde. — Disposant de deux tubes sans électrodes contenant du mercure 198 et de l'argon à des pressions de 3 mm et de 1 mm de mercure respectivement, nous avons comparé rapidement la longueur d'onde de la radiation verte émise par ces deux tubes, par l'observation des anneaux d'interférence à l'infini d'un étalon Perot-Fabry de 25 cm. A la précision des mesures (environ $2 \cdot 10^{-8}$ en valeur relative), cette longueur d'onde est la même, malgré la différence de pression de l'argon. Il est possible qu'après un long usage, la pression d'argon dans le tube le plus ancien (1948) soit passée de 3 mm à une valeur inférieure; il se pourrait aussi que la

Interférométrie.

petite proportion de mercure 199 contenue dans les deux tubes soit différente.

Une série de comparaisons des longueurs d'onde de radiations du mercure 198 et du krypton 84 et 86 à celle de la radiation rouge du cadmium a été commencée récemment à l'interféromètre de Michelson. J. TERRIEN a modifié l'optique des faisceaux de lumière, afin de mieux utiliser l'étendue géométrique disponible à la sortie du monochromateur. Il en résulte que la luminosité des anneaux a été plus que décuplée. La partie utilisée des miroirs plans de l'interféromètre a maintenant une aire de 3 cm² environ, au lieu de 0,15 à 0,3 cm²; l'influence des défauts de planéité est donc plus grande, mais elle est plus constante. Des interférences ont été vues sans difficulté à une différence de marche supérieure à 730 mm avec plusieurs radiations du krypton 86 refroidi au point triple de l'azote; on a atteint la différence de marche 750 mm avec la radiation rouge de longueur d'onde 0,606 μ , et 1 m avec la radiation infra-rouge de longueur d'onde 0,985 624 μ . La radiation rouge du cadmium a pu être utilisée jusqu'à 300 mm de différence de marche. Ces expériences répondent au programme recommandé par le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre en vue du choix d'un étalon de longueur. Elles ont conduit, comme on vient de le voir, à un résultat d'une grande importance puisqu'il est maintenant possible de comparer directement une longueur d'onde à la longueur du Mètre prototype international.

Mesure du quartz de 100 mm. — L'étalon de quartz cristallin de 100 mm, témoin du Mètre, mesuré par les interférences il y a une trentaine d'années [A. PÉRARD, *Étude des étalons en quartz (Travaux et Mémoires, Tome XX)*], avait été mesuré à nouveau en 1952, entre 19,5 et 20,2°C, et nous avons conclu qu'une étude plus approfondie de la dilatation thermique serait utile. De nouvelles mesures entre 15,1 et 24,8°C (voir ce volume, p. M 95) ont donné les résultats suivants, qui sont comparés aux résultats obtenus antérieurement à 16, 20 et 24°C :

	1925. (1)	1952. (2)	1953. (3)	Δ . (3)-(1)
$l_{16}-100$ mm.	-0,494 μ	-	-0,481 μ	+0,013 μ
$l_{20}-100$ »	+2,467	+2,497 μ	+2,482	+0,015
$l_{24}-100$ »	+5,459	-	+5,472	+0,013
$l_{20}-l_{16}$	+2,961 μ	-	+2,963 μ	-
$l_{24}-l_{20}$	+2,992	-	+2,990	-

Ces résultats ont été considérés comme provisoires, mais aucune nouvelle mesure n'a pu être effectuée depuis. On peut cependant noter que les résultats de 1925 et de 1953 sont très voisins. Ils deviennent pratiquement identiques si l'on tient compte de la diminution de la longueur d'onde de la radiation verte émise par notre tube à mercure 198 entre 1952 et 1954, diminution de l'ordre de 10^{-7} signalée plus loin.

Il est intéressant de rappeler que l'étalon en quartz dont il est question ici a été construit dans le but de constituer, avec la barre de platine iridié et la longueur d'onde, l'une des trois bases sur lesquelles est fondée notre confiance dans l'invariabilité de l'unité de longueur.

Après trente années, on peut heureusement constater que les rapports de ces trois étalons entre eux n'ont pas changé de quantités supérieures à 10^{-7} en valeur relative. On peut affirmer aussi qu'aucun d'eux ne dépasse les autres en précision. Nous avons de fortes raisons de penser que la longueur d'onde nous permettra bientôt de faire un sensible progrès, mais notre expérience actuelle ne confirme nullement que ce moment soit arrivé.

Mesure de deux étalons à bouts sphériques d'un mètre en silice. — Pendant l'impression de mon Rapport présenté au Comité International en 1952, J. TERRIEN et J. HAMON ont déterminé la longueur de deux étalons d'un mètre, nos 21 et XI appartenant à l'Institut Géodésique de Finlande, par une méthode interférentielle; deux autres méthodes ont été employées également. Ce travail, publié à l'Annexe IX des *Procès-Verbaux du Comité International*, t. XXIII-A, 1952, p. 157, était considéré comme préliminaire.

L'Institut Géodésique de Finlande a pu nous confier en juillet 1953 ses deux étalons nos VIII et XI et des mesures interférentielles mieux préparées ont été faites en septembre-octobre 1953. La précision atteinte dans ces dernières déterminations est estimée à $\pm 0,1\mu$ sur un mètre. Une description sommaire de la méthode et des améliorations apportées par rapport aux expériences de l'année précédente est publiée à l'Annexe 9 (*voir* p. 160).

Comparaison internationale de calibres. — Par deux lettres-circulaires du 28 janvier et du 31 mai 1952, le Bureau Inter-

national a proposé aux principaux Laboratoires de métrologie un programme de mesures comparatives de calibres en acier à bouts plans par les méthodes interférentielles. Chaque Laboratoire était invité à envoyer au Bureau International trois calibres (50, 75 et 100 mm) et un plan; la longueur de ces calibres devait être mesurée par les interférences au Laboratoire d'origine, puis au Bureau International et de nouveau au Laboratoire d'origine. Les Laboratoires de neuf pays répartis dans le monde (Allemagne, Australie, Canada, États-Unis, France, Grande-Bretagne, Japon, Suisse, U. R. S. S.) ont répondu à cette invitation. Le travail matériel assuré par notre Bureau pour l'exécution des mesures, la réduction des calculs et la rédaction des Rapports a été considérable puisqu'il a occupé pendant environ onze mois J. HAMON, aidé d'un calculateur. Les conclusions définitives seront établies après que toutes les valeurs de retour nous auront été communiquées.

Il apparaît dès maintenant que cette étude était d'une grande utilité. Plusieurs Laboratoires se sont efforcés à cette occasion d'améliorer la précision de leurs expériences. La détermination exacte de la perte de phase sur une surface d'acier est un problème qui n'a peut-être pas encore trouvé une solution irréprochable; la nécessité de cette correction est un défaut de principe de ces étalons à bouts, dont les extrémités sont orientées en sens opposé. Il est possible aussi que les déformations subies par les calibres, lorsqu'on les met en adhérence sur un plan pour leur mesure, introduisent une nouvelle incertitude, surtout si le degré de poli et la planéité des surfaces sont imparfaits. Une précision de $0,02 \mu$ ne paraît assurée que sur des calibres d'une perfection exceptionnelle.

Il semble que les longueurs trouvées au Bureau International soient en général plus élevées que celles des autres Laboratoires. Un dosage a montré que la proportion de gaz carbonique dans l'air de notre salle d'expériences était vraisemblablement $0,00042$, au lieu de la valeur admise $0,0003$. De plus, la longueur d'onde de la radiation verte du mercure 198, produite avec le tube offert par le National Bureau of Standards en 1948, a changé depuis janvier 1952; comparée tout récemment à la longueur d'onde de la radiation rouge du cadmium, elle est passée de $0,54607532$ à $0,54607528 \mu$. Cette variation d'environ $7 \cdot 10^{-8}$ en valeur relative s'explique peut-être par une diminution de la pression de l'argon.

Ces constatations récentes nous amèneront à diminuer les longueurs mesurées par interférences au B. I. P. M. de 10^{-7} en valeur relative. Malgré cette correction, les échanges de calibres avec le N. P. L. et la P. T. B. montrent un désaccord petit, mais systématique, sur la longueur optique; les valeurs obtenues au Bureau International sont supérieures à celles du N. P. L. de $4 \cdot 10^{-7}$, et supérieures à celles de la P. T. B. de 1 à $2 \cdot 10^{-7}$ en valeur relative.

En même temps que ses calibres en acier, l'Institut de Métrologie de l'U. R. S. S. avait confié au Bureau International un calibre de 100 mm en quartz cristallin, en adhérence optique permanente sur un plan de quartz. Les incertitudes sur la perte de phase et sur l'adhérence n'interviennent pas, et la reproductibilité des mesures, à l'interféromètre Fizeau-Pérard, est nettement meilleure que dans le cas de calibres en acier; leur dispersion moyenne est $\pm 0,004 \mu$. De plus, ce même étalon en quartz a été mesuré à l'interféromètre de Michelson par l'observation des anneaux à l'infini; l'écart moyen a été $\pm 0,002 \mu$. Ces deux méthodes de mesure concordent à $0,004 \mu$ près. Mais la moyenne des résultats du Bureau International était supérieure de $0,035 \mu$ à celle qu'a obtenue l'Institut de Métrologie avant l'envoi de son calibre au Bureau International; cette différence est ramenée à $0,025 \mu$ après la correction que nous avons apportée récemment à la longueur d'onde de la raie verte émise par notre tube à mercure 198.

Le défaut de planéité des plans de référence a été mesuré en valeur absolue à cette occasion par la méthode des franges à trois ondes de Zernike.

Étude théorique de la formation des franges d'interférence. — J. TERRIEN a établi ou complété plusieurs théories interférentielles, en s'affranchissant des approximations habituelles qui risquent de n'être plus justifiées aux grandes différences de marche autorisées par les sources monochromatiques modernes. Citons :

- 1° la localisation des franges à deux ondes du coin d'air épais;
- 2° le calcul de l'intensité et de la phase des franges à ondes multiples entre miroirs parallèles semi-réfléchissants par transmission et surtout par réflexion;
- 3° l'influence des dimensions de la source;
- 4° le calcul du contraste des franges à ondes multiples par

transmission entre miroirs parallèles pour une raie élargie par effet Doppler (en collaboration avec J. HUNZINGER).

Dans le cas des franges par réflexion, ce dernier calcul a paru trop difficile; on a donc déterminé le déplacement relatif des franges claires et des franges sombres, qui sont dissymétriques, et la variation du contraste, au moyen d'un intégrateur photométrique. Des vérifications expérimentales ont confirmé, avec une approximation suffisante, l'exactitude de plusieurs résultats obtenus par ces études théoriques. Ces théories ont été utiles pour le calcul de diverses corrections, en particulier dans la mesure des étalons à bouts d'un mètre de l'Institut Géodésique de Finlande.

*Métallisation
par évaporation.*

Un dispositif photoélectrique permettant la mesure du facteur de transmission des dépôts pendant l'évaporation a été construit. Une étude de l'oxydation de l'aluminium a été entreprise. L'aluminure des miroirs opaques de l'interféromètre Michelson a été refaite par nos soins et a donné un facteur de réflexion égal à 90,9%.

Divers.

Un amplificateur équilibré à courant continu a été construit notamment pour être monté avec l'enregistreur Esterline-Angus du Bureau International. Ainsi, on a pu réaliser avec un photomultiplicateur, un microphotomètre enregistreur très sensible permettant l'enregistrement de la densité optique des franges d'interférences photographiées.

Voyages.

Je me suis rendu à Stockholm à la fin de juillet 1953 pour assister à la réunion de la « Commission mixte des Données physico-chimiques », dont je fais partie *ex officio*. Le bureau du Comité m'a autorisé à prolonger ce voyage jusqu'en Finlande où se trouvent, comme on sait, des centres d'études géodésiques et métrologiques très importants. La base de Numela, le laboratoire du Professeur VÄISÄLÄ, le Bureau des Poids et Mesures, ont été d'un grand intérêt pour moi.

En septembre 1953, J. TERRIEN a visité pendant plusieurs jours la Physikalisch-Technische Bundesanstalt à Braunschweig, où il a particulièrement été intéressé par les installations très modernes pour l'interférométrie. Le sous-Directeur du Bureau a également assisté à Genève, en avril 1954, à deux journées de démonstration organisées par la Société Genevoise d'Instruments de Physique, durant lesquelles il a pu discuter avec les ingénieurs de cette Société, et avec d'autres éminents invités, les problèmes

métrologiques que pose l'avènement du microscope photo-électrique. Il a en même temps visité les Établissements « Ébauches S. A. » à Neuchâtel.

Au cours d'une mission rapide en Suisse en juillet 1954, A. BONHOURE a aussi eu l'occasion de visiter la Société Genevoise et les Établissements « Ébauches S. A. ».

M. GAUTIER a passé une dizaine de jours, en avril 1953, au National Physical Laboratory où il a obtenu des renseignements techniques très précieux concernant l'Échelle Internationale de Température dont la réalisation au Bureau International a été recommandée par le Comité Consultatif de Thermométrie dans sa session de juillet 1954.

En dehors des nombreux visiteurs que nous avons reçus au Pavillon de Breteuil, je mentionnerai particulièrement les stages plus ou moins prolongés de :

Stages.

Mr J.-J. HUNZINGER, Ingénieur opticien, qui, de janvier à juillet 1953, s'est familiarisé avec nos techniques interférentielles qu'il est maintenant chargé d'appliquer comme assistant au Conservatoire National des Arts et Métiers. Grâce à sa bonne formation et à son esprit d'initiative, Mr HUNZINGER nous a rendu des services en procédant au réglage de l'interféromètre Kösters et à quelques études théoriques.

Mr J. JASNOZEWski, du Bureau National des Mesures de Pologne, qui a effectué l'étude de quatre règles appartenant à ce Laboratoire.

Mr E. ENGELHARD, de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, qui a collaboré à la mesure d'un Mètre en acier de ce Laboratoire.

MM. J. W. BEUNDER et J. THIERRY, du Service des Poids et Mesures des Pays-Bas, qui se sont documentés sur les étalons de masse et leur mesure.

Publications du Bureau.

Le tome XXI de nos *Travaux et Mémoires* est sorti de presse. Il contient les Ouvrages suivants, dont la plupart avaient déjà paru en tirages à part :

Les Mètres prototypes du Bureau International. Notes historiques, Rénovation, Étude, par A. PÉRARD et CH. VOLET.

Remarques sur le calcul des étalonnages et des calibrages, par N. CABRERA et H. MOREAU.

Étude sur la flexion des étalons de longueur, par CH. VOLET.

Coordination des unités électriques au Bureau International des Poids et Mesures (1932-1948), par M. ROMANOWSKI.

Théorie de l'équilibrage du Pont double, par M. GAUTHIER.

Comptes Rendus des séances de la Neuvième Conférence Générale des Poids et Mesures.

Les Récents Progrès du Système Métrique, 1948, par A. PÉRARD.

En mentionnant ici la parution du tome XXIII des *Procès-Verbaux du Comité International*, je dois attirer l'attention sur l'importance de la tâche qui est confiée au Bureau International pour la publication de ces *Procès-Verbaux*. Dans le cours de ces deux dernières années nous avons publié les *Procès-Verbaux* des séances du Comité International et de nos quatre Comités Consultatifs, soit au total environ 750 pages y compris les Annexes. Non seulement cela constitue une lourde charge pour nos finances, mais le temps que nécessitent la mise au point du texte, la correspondance avec les auteurs, l'exécution des figures, la correction des épreuves, etc., est considérable.

Publications extérieures.

CH. VOLET, *La définition du mètre doit-elle être changée?* (*Microtecnica*, t. 6, 1952, p. 302).

J. TERRIEN, *Coordination of the photometric units at the B. I. P. M.* (in *Recent developments and techniques in the maintenance of standards*, H. M. S. O. London, 1952, p. 68).

J. TERRIEN et F. DESVIGNES, *Séparateur photométrique pour la spectrophotométrie visuelle de précision* (*Mesures*, t. 17, 1952, p. 393).

J. TERRIEN, *Le Mètre sera-t-il remplacé par une longueur d'onde?* (*La Revue Française de l'Élite européenne*, n° 41, 1952, p. 21).

A. BONHOURÉ, *La construction des prototypes de masse* (*Microtecnica*, t. 6, 1952, p. 204).

A. BONHOURÉ, *La base géodésique du Bureau International des Poids et Mesures* (*Revue de Métrologie pratique et légale*, t. 12, 1952, p. 425).

- J. TERRIEN, *Méthode pour comparer une longueur à bouts et une longueur à traits* (C. R. Acad. Sc., t. 233, 1952, p. 1288).
- J. TERRIEN, *La précision des étalons* (Mesures, t. 18, 1953, p. 143).
- J. TERRIEN, *Étalons de température* (Conférence au Centre de Perfectionnement technique, Paris, 1953).
- H. MOREAU, *The genesis of the Metric System and the Work of the International Bureau of Weights and Measures* (J. of Chemical Education, t. 30, 1953, p. 3-20).
- H. MOREAU, *Méthodes d'étalonnage* (Conférence au Centre de Perfectionnement technique, Paris, 1952; Mesures, t. 18, 1953, p. 255-258 et 335-339).
- H. MOREAU, *Les étalons fondamentaux des systèmes métrique et britannique, et les relations yard/mètre et pound/kilogramme* (Mesures, t. 18, 1953, p. 423-429).
- H. MOREAU, *La Toise, ancien étalon de longueur* (La Nature, août 1953, n° 3220, p. 254-255 et Revue de Métrologie pratique et légale, septembre 1953, p. 473-475).
- M. GAUTIER, *A modification of the Smith bridge, type III* (J. Sc. Inst., t. 30, 1953, p. 381).
- H. MOREAU, *Vers une nouvelle définition du Mètre* (La Nature, janvier 1954, n° 3225, p. 34-36).
- J. TERRIEN, *Méthode pour comparer une longueur à traits et une longueur d'onde lumineuse* (C. R. Acad. Sc., t. 238, 1954, p. 1001).
- J. TERRIEN, *Quelques problèmes posés par l'utilisation des interférences dans la mesure précise des calibres à bouts plans. Étude des franges du coin d'air* (J. Phys. Rad., t. 15, 1954, p. 6S).
- J. TERRIEN, *Longueurs d'onde étalons* (Conférence au Groupement pour l'Avancement des Méthodes d'analyse spectrographique, 17^e Congrès, Paris, 1954, p. 171).
- J. TERRIEN et J. HAMON, *Interférences optiques à un mètre de différence de marche* (C. R. Acad. Sc., t. 239, 1954, p. 586).
- J. TERRIEN, *Étalons de lumière* (Bull. Soc. Franç. Électr., 7^e série, t. 4, 1954, p. 463 et Revue de Métrologie pratique et légale, août 1954, p. 341-347).
- Å. THULIN, *Sur la mesure photoélectrique du déplacement d'un spot lumineux* (C. R. Acad. Sc., t. 238, 1954, p. 1210).

CERTIFICATS

DÉLIVRÉS DU 1^{er} SEPTEMBRE 1952 AU 31 AOÛT 1954.

1.	1952 Oct.	27.	Quatre fils de 24 m, n ^{os} 73 à 76, un fil de 8 m, n ^o 87.....	{ Mission d'aide technique de PUNESCO au Pakistan.
2.	»	»	28. Ruban de 4 m en invar n ^o 6912.....	} Id.
3.	»	»	29. Six fils de 24 m, n ^{os} 294, 295, 747, 749, 1259, 1261.....	{ Service Géographique de l'Armée, Ankara.
4.	»	»	31. Règle de 1 m, S.I.P. n ^o 4756, en acier-nickel 58%.....	{ National Standards Laboratory, Chippendale.
5.	»	Nov.	25. Huit étalons secondaires d'intensité lumineuse, C 97 a, S 1, SC 11, SC 12 (Tc 2042° K) et T 1, T 2, T 3, SV 27 (Tc 2353° K).....	} Kungl. Mynt-och Justeringsverket, Stockholm.
6.	»	»	25. Huit étalons secondaires de flux lumineux F 1 à F 4 (Tc 2353° K) et H 1 à H 4 (Tc 2788° K).....	} Id.
7.	»	»	26. Étalon secondaire de flux lumineux n ^o 211.....	{ Bureau fédéral des Poids et Mesures, Berne.
8.	»	»	27. Ruban de 4 m en invar, n ^o 2626 H 3 (addition).....	{ Institut Géographique National, Paris.
9.	»	»	29. Fil de 24 m, n ^o 1267.....	} Id.
10.	»	Déc.	1 ^{er} Quatre fils de 24 m, n ^{os} 306, 307, 308, 564, un fil de 8 m, n ^o 317 (addition).....	} Id.
11.	»	»	3. Quatre fils de 24 m, n ^{os} 339, 340, 808, 809 (addition)....	} Id.
12.	»	»	4. Fil de 8 m, n ^o 789.....	} Id.
13.	»	»	8. Deux thermomètres Baudin n ^{os} 18149, 18150.....	{ Gouvernement Yougoslave.

14.	1952	Déc.	8.	Quatre thermomètres Pro-labo n ^{os} 75, 77 à 79.....	} Service technique cen- tral des Approvision- nements du Gaz de France, Paris.
15.	"	"	8.	Deux thermomètres Prolabo n ^{os} 330, 332.....	
16.	"	"	22.	Cinq éléments Weston n ^{os} 104 à 108.....	} Ministère du Com- merce et de l'Indus- trie, Paris.
17.	1953	Janv.	8.	Étalon de résistance de 1Ω , n ^o 7516.....	
18.	"	Fév.	9.	Quatre fils de 24 m, n ^{os} 50 à 53, un fil de 8 m, n ^o 49 (addition).....	} Institut Géographique de l'Armée populaire Yougoslave.
19.	"	"	10.	Deux fils de 48 m, n ^{os} 42 et 43 (addition).....	
20.	"	Mars	30.	Série de masses en acier inoxydable de 100g à 1g..	} Becker's Sons n.v., Brummen.
21.	"	Avril	4.	Série de masses en acier inoxy- dable de 100 g à 1 g.....	
22.	"	Mai	15.	Quatre calibres étalons de 25, 50, 75, 100 mm.....	} Central Inspection Institute of Weights and Measures, Tokyo.
23.	"	"	15.	Trois calibres étalons de 50, 75, 100 mm.....	
24.	"	"	15.	Trois calibres étalons de 50, 75, 100 mm.....	} Physikalisch-Tech- nische Bundesans- talt, Braunschweig.
25.	"	"	15.	Trois calibres étalons de 50, 75, 100 mm.....	
26.	"	"	15.	Quatre calibres étalons de 20, 50, 70, 100 mm.....	} Laboratoire Central de l'Armement, Paris.
27.	"	"	15.	Un calibre étalon de 50 mm.	
28.	"	"	15.	Quatre étalons secondaires de flux lumineux, n ^{os} 199 A, D, J, O (Tc 2788° K).....	} Bureau Fédéral des Poids et Mesures, Berne.

29.	1953	Juin	1 ^{er}	Douze étalons secondaires d'intensité lumineuse n ^{os} 5, 31, 35, 36, 39, 41 C (Tc 2042°K), n ^{os} 25, 47, 48, 52, 53, 55 W (Tc 2353°K).....	National Research Council, Ottawa.
30.	»	»	6.	Quatre masses en baros et quatre masses en platine...	Bureau National des Poids et Mesures, Prague.
31.	»	»	12.	Quatre fils de 24 m, n ^{os} 306, 307, 308, 564, un fil de 8 m, n ^o 317 (addition).....	Institut Géographique National, Paris.
32.	»	»	13.	Ruban de 4 m en invar n ^o 2626 H3 (addition).....	Id.
33.	»	»	24.	Kilogramme prototype n ^o 54.	Turquie.
34.	»	»	26.	Kilogramme prototype n ^o 41.	Tchécoslovaquie.
35.	»	»	30.	Kilogramme n ^o 21 en « nickel D ».....	République Dominicaine.
36.	»	»	30.	Six calibres étalons de 10, 20, 30, 50, 80, 100 mm.....	Bureau National des Poids et Mesures, Prague.
37.	»	Juil.	3.	Quatre fils de 24 m, n ^{os} 460 à 463, un fil de 8 m, n ^o 471 (addition).....	Ministère d'Outre-Mer du Portugal.
38.	»	»	4.	Ruban de 4 m, n ^o 1204 N.3 N ^o 58 (addition).....	Id.
39.	»	»	6.	Quatre éléments Weston n ^{os} 2709, 2736, 5661, 5670...	Institut de Métrologie de l'U.R.S.S., Léninград.
40.	»	»	7.	Deux fils de 24 m, n ^{os} 98, 99, un fil de 8 m, n ^o 83 (addition).....	Commission Géodésique Suisse.
41.	»	»	8.	Kilogramme prototype n ^o 53.	Pays-Bas.
42.	»	Août	14.	Ruban de 4 m en invar n ^o 1551 UN ^o 120.....	Société Française de Stéréotopographie, Paris.
43.	»	»	18.	Règle de 1 m, n ^o 169 en invar.	National Research Council, Ottawa.
44.	»	»	19.	Règle de 1 m, n ^o 133 en acier-nickel 43%.....	Id.
45.	»	»	20.	Règle de 1 m, n ^o 94 en nickel.	Id.
46.	»	»	21.	Dix étalons secondaires d'intensité lumineuse n ^{os} 8, 21, 22, 37, 40 C (Tc 2042°K), n ^{os} 29, 30, 31, 37, 51 W (Tc 2353°K).....	Faculté d'Électrotechnique de l'Université technique d'Istanbul.

47.	1953	Août	21.	Douze étalons secondaires d'intensité lumineuse n ^{os} 43, 47, 51, 64, 67, 82 C (Tc 2042° K), n ^{os} 24, 38, 40, 41, 45, 50 W (Tc 2353° K)...	National Standards Laboratory, Chippendale.
48.	»	Sept.	1 ^{er}	Huit étalons secondaires de flux lumineux n ^{os} 25, 47, 48, 49 F (Tc 2353° K), n ^{os} 33, 37, 38, 53 G (Tc 2788° K)...	Physikalisch-Technische Reichsanstalt, Berlin.
49.	»	»	4.	Quatre rubans de 4 m, en invar, n ^{os} 253, 254, 14 L 8, 1551 U N° 117.....	Société Française de Stéréotopographie, Paris.
50.	»	»	5.	Ruban de 4 m en invar, n° 251.....	Id.
51.	»	»	30.	Une masse de 100g en platine.	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.
52.	»	Oct.	26.	Douze étalons secondaires de flux lumineux n ^{os} 14, 15, 21, 22, 32, 38 F (Tc 2353° K), n ^{os} 31, 41, 43, 55, 59, 62 G (Tc 2788° K).....	National Standards Laboratory, Chippendale.
53.	»	»	27.	Règle de 1 m, n° 380 en acier.	Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.
54.	»	Nov.	9.	Étalon secondaire de flux lumineux n° 19 F (Tc 2353° K).	Gouvernement Australien.
55.	»	»	24.	Six étalons secondaires de flux lumineux n ^{os} 12, 33, 37 F (Tc 2353° K), n ^{os} 32, 35, 56 G (Tc 2788° K).....	Istituto Elettrotecnico Nazionale, Torino.
56.	»	Déc.	2.	Dix étalons secondaires de flux lumineux n ^{os} 17, 41, 42, 43, 46 F (Tc 2353° K), n ^{os} 46, 51, 54, 60, 61 G (Tc 2788° K).	Faculté d'Électrotechnique de l'Université technique d'Istanbul.
57.	»	»	8.	Quatre fils de 24 m, n ^{os} 306, 307, 308, 564, un fil de 8 m, n° 317 (addition).....	Institut Géographique National, Paris.
58.	»	»	9.	Ruban de 4 m en invar n° 2626 H 3 (addition).....	Id.
59.	»	»	10.	Étalon secondaire de flux lumineux « Luxor » n° 11 (Tc 2353° K).....	Service de la Métrologie du Ministère des Affaires Économiques de Belgique.

60.	1953	Déc.	16.	Quatre Kilogrammes n ^{os} A, 1, 2, 3, en « nicral D ».....	} Service des Poids et Mesures des Pays-Bas.
61.	»	»	17.	Trois fils de 24 m, n ^{os} 255 811 à 255 813.....	
62.	»	»	19.	Deux calibres étalons de 15 et 20 mm.....	} Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris.
63.	1954	Janv.	13.	Kilogramme prototype n ^o 52.	
64.	»	»	29.	Règle de 50 cm, n ^o 70/52 en acier-nickel.....	} National Research Council, Ottawa.
65.	»	Fév.	15.	Ruban de 50 m en invar n ^o 258.....	
66.	»	»	16.	Huit fils de 24 m, n ^{os} 1214, 1215, 1245, 1246, 1251, 1334, 1338, 1341.....	} Id.
67.	»	»	23.	Thermomètre S.R.P. n ^o 134.	
68.	»	»	25.	Thermomètre Prolabo n ^o 350.	} Gaz de France, Nice.
69.	»	»	25.	Trois calibres étalons de 50, 70, 100 mm.....	
70.	»	»	25.	Trois calibres étalons de 50, 75, 100 mm.....	} National Research Council, Ottawa.
71.	»	»	25.	Quatre calibres étalons de 25, 50, 75, 100 mm.....	
72.	»	Mars	9.	Trois calibres étalons de 50, 75, 100 mm.....	} Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.
73.	»	»	15.	Trois calibres étalons de 50, 75, 100 mm.....	
74.	»	»	24.	Règle de 508 mm S.I.P. n ^o 3126.....	} Chantier et Ateliers Navals de Penhoët, Saint-Nazaire.
75.	»	Avril	2.	Règle de 1 m, n ^o 721 en invar.	

76.	1954	Avril	3.	Ruban de 5 m en invar n° 7066 R 1.....	} Société Française de Stéréotopographie, Paris.
77.	»	»	8.	Quatre calibres étalons de 25, 50, 75, 100 mm.....	} Central Inspection Institute of Weights and Measures, Tokio.
78.	»	»	9.	Deux broches en acier de 0,5 et 1 m.....	} Laboratoire Central de l'Armement, Paris.
79.	»	Juin	10.	Quatre fils de 24 m, n° 50 à 53, un fil de 8 m, n° 49 (addition).....	} Institut Géographique de l'Armée Populaire Yougoslave.
80.	»	»	11.	Deux fils de 24 m, n° 679, 680, un fil de 8 m, n° 591 (addition).....	} Id.
81.	»	»	12.	Deux fils de 24 m, n° 676 et 684.....	} Id.

NOTES D'ÉTUDE.

1.	1952	Nov.	15.	Un manobaromètre.....	} Jaeger, Levallois-Per- ret.
2.	»	Déc.	1 ^{er}	Un contrôleur de niveaux....	} Société Générale d'Op- tique, Paris.
3.	1953	Janv.	21.	Série de masses Sartorius (200 g à 1 mg).....	} Institut Supérieur de la Santé, Rome.
4.	»	Fév.	4.	Cinq fils de 24 m, n° 482, 1207, 1314, 1320, 1321.....	} Société Française de Stéréotopographie, Paris.
5.	»	Mars	23.	Un Kilogramme en nickel- chrome.....	} L. Oertling, Orpington.
6.	»	Août	13.	Trois fils de 24 m, n° 482, 1207, 1314.....	} Société Française de Stéréotopographie, Paris.
7.	»	»	16.	Thermomètre Prolabo n° 351.	} Gaz de France, Mont- pellier.
8.	»	Déc.	9.	Pont de Callendar et ther- momètre à résistance.....	} Manufacture Française de Pneumatiques Michelin, Clermont- Ferrand.
9.	1954	Avril	3.	Deux fils de 24 m, n° 1207, 1314 (addition).....	} Société Française de Stéréotopographie, Paris.

10.	1954	Avril	3.	Fil de 24 m, n° 1071, fil de 12 m, } n° 1378, fil de 8 m, n° 1074. }	Id.
11.	»	»	3.	Fil de 6 m, n° 1056	Id.
12.	»	»	13.	Thermomètre S.R.P. n° 136 } (addition)..... }	Institut Français du Pétrole, Rueil-Mal- maison.
13.	»	Mai	28.	Deux règles en invar à deux } divisions sur biseau..... }	Service Géographique de l'Armée populaire Yougoslave.

RAPPORT.

1:	1954	Fév.	4.	Un calibre en quartz de } 100 mm adhérent à un plan } en quartz	Institut de Métrologie de l'U.R.S.S., Lénin- grad.
----	------	------	----	---	--

V. — COMPTES.

Le compte rendu précédent présenté au Comité International dans sa session de 1952 s'arrêtait au 31 décembre 1951. L'exposé qui suit comprend les mouvements des comptes du 1^{er} janvier 1952 au 31 décembre 1953, date du dernier bilan.

COMPTE I.

FONDS DISPONIBLES.

	francs-or.
Actif au 1 ^{er} janvier 1952.....	332 866,57
Recettes du 1 ^{er} janvier 1952 au 31 décembre 1953 suivant détail donné au Tableau A (p. 61).....	448 160,54
Total.....	<u>781 027,11</u>
Dépenses du 1 ^{er} janvier 1952 au 31 décembre 1953 suivant détail donné au Tableau B (p. 62).....	567 682,38
Actif au 31 décembre 1953.....	<u>213 344,73</u>
Total.....	<u>781 027,11</u>

COMPTE II.

FONDS DE RÉSERVE.

	francs-or.
Actif au 1 ^{er} janvier 1952.....	<u>32 650,83</u>
POUR MÉMOIRE : Intérêts des titres, virés au Compte I : 872,30 francs-or.	
Remboursement de titres sortis au tirage, versé au Compte I.....	13,09
Actif au 31 décembre 1953.....	<u>32 637,74</u>
Total.....	<u>32 650,83</u>

COMPTE III.

CAISSE DE RETRAITES.

	francs-or.
Actif au 1 ^{er} janvier 1952.....	65 211,68
Recettes du 1 ^{er} janvier 1952 au 31 décembre 1953 :	
Intérêts des titres	537,85
Retenues sur traitements.....	8 646,15
1/3 des taxes de vérification.....	3 090,68
Virement du Compte I.....	<u>15 000,00</u>
Total.....	<u>92 486,36</u>
Dépenses du 1 ^{er} janvier 1952 au 31 décembre 1953 :	
Pensions de M ^{mes} GUILLAUME, GILLON, LEVEUGLE, MM. PÉRARD, MAUDET, MINAULT et des mineurs ROUX.....	61 995,72
Remboursement des versements de MM. CABRERA et FORGET.....	2 968,16
Actif au 31 décembre 1953.....	<u>27 522,48</u>
Total.....	<u>92 486,36</u>

COMPTE IV.

DON UNIQUE.

	francs-or.
Recettes du 30 novembre 1952 au 31 décembre 1953....	56 468,00
Dépenses en 1953.....	40 230,00
Actif au 31 décembre 1953.....	<u>16 238,00</u>
Total.....	<u>56 468,00</u>

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 1953.

	francs-or.
Compte I « Fonds disponibles ».....	213 344,73
Compte II « Fonds de réserve ».....	32 637,74
Compte III « Caisse de retraites ».....	27 522,48
Compte IV « Don unique ».....	<u>16 238,00</u>
Total.....	<u>289 742,95</u>

Le total de l'actif se décompose comme suit :

a. Les titres :

Valeur comptabilisée.....	francs-or. 96 514,07
---------------------------	-------------------------

b. L'or :

Un lingot.....	44 026,98
Pièces d'or.....	820,00

c. Les fonds déposés en banque :

1° En francs français.....	35 666,52
2° En dollars.....	48 978,40
3° En francs suisses.....	68 261,43
4° En livres sterling.....	3 895,93

d. Les espèces en caisse.....	4 339,12
Total.....	<u>302 502,45</u>

A déduire :

Provision pour remboursement aux États..	<u>12 759,50</u>
Actif net.....	<u><u>289 742,95</u></u>

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 %;
55 000 francs suisses obligations C. F. F. 3 % 1938;

Valeur comptabilisée.....	francs-or. 76 023,73
---------------------------	-------------------------

TITRES DU COMPTE II.

3 actions de capital Suez;
12 500 francs suisses obligations C. F. F. 3 % 1938;

Valeur comptabilisée.....	francs-or. 12 167,56
---------------------------	-------------------------

TITRES DU COMPTE III.

4 500 francs suisses obligations C. F. F. 3 % 1938;
800 £ Consol. Anglais 2,5 % ;

Valeur comptabilisée.....	8 322,78
Total.....	<u><u>96 514,07</u></u>

MOUVEMENT DES VALEURS.

Au Compte I, 6 000 francs suisses d'obligations C.F.F. 3% 1938 ont été amortis au tirage et n'ont pas été remployés. D'autre part, afin de simplifier la gestion du portefeuille, le Bureau International a cédé en Bourse quelques titres de faible importance, à savoir :

pour le Compte I, 3 000 F de rente 5% 1949, 50 000 F obligations du Trésor Français 4% 1934 et 39 000 F obligations S.N.C.F. 5% 1921;

pour le Compte II, 19 500 F obligations S.N.C.F. 4%, 23 000 F obligations S.N.C.F. 2,50%, 22 500 F obligations S.N.C.F. 3% et 15 F de rente 3% amortissable. Dans cette dernière catégorie de titres, 45 F de rente se sont en outre trouvés amortis.

TABLEAU A. — Recettes du Compte I de 1947 à 1953 (francs-or).

	1947.	1948.	1949.	1950.	1951.	1952.	1953.
CONTRIBUTIONS DES ÉTATS :							
Réglementaires de l'année.....	104 306,56	117 824,39	168 065,50	147 203,48	96 305,00	116 163,18	144 215,00
Arriérées.....	53 425,73	64 284,89	136 848,11	120 016,69	18 034,56	108 832,05	9 841,00
Anticipées.....	-	-	18 712,00	2 062,00	14 950,82	18 062,00	22 835,00
Total des contributions...	157 732,29	182 109,28	323 625,61	269 282,17	129 290,38	243 057,23	176 891,00
Intérêts des Titres et des Fonds..	1 022,65	4 351,93	2 840,01	3 086,73	3 146,20	3 733,79	4 376,11
Recettes diverses.....	10 709,64	16 244,46	1 306,79	1 373,36	880,77	2 575,15	2 116,38
Subventions.....	11 222,38	-	-	-	-	-	-
Deux tiers des taxes de vérification.....	357,14	1 596,25	1 583,98	576,25	3 266,75	2 104,35	4 077,03
Prélèvement sur le compte « Remboursement aux États ».....	-	-	-	-	62 093,08	9 229,50	-
Total général.....	181 044,10	204 301,92	329 356,39	274 318,51	198 677,10	260 700,02	187 460,52

TABLEAU B. — Dépenses du Compte I de 1947 à 1953 (francs-or).

CHAPITRES DE DÉPENSES.	1947.	1948.	1949.	1950.	1951.	1952.	1953.
A. PERSONNEL :							
Traitements et indemnités.....	128 566,37	111 211,92	111 747,79	118 792,10	142 655,48	150 487,55	168 547,50
B. INDEMNITÉ DU SECRÉTAIRE....							
	2 989,18	3 000,00	3 000,00	3 000,00	3 000,00	3 000,00	3 000,00
C. FRAIS GÉNÉRAUX D'ADMINISTRATION :							
Entretien des bâtiments et dépenses.....	11 465,18	16 526,75	12 330,33	18 275,44	18 027,95	38 539,70	24 216,59
Mobilier.....	-	168,96	564,80	1 029,66	2 989,45	1 533,85	2 183,63
Machines et instruments, frais d'atelier et de laboratoire.....	24 255,80	20 992,30	12 253,41	11 972,95	16 051,51	53 517,85	35 675,85
Chauffage, éclairage, force motrice.	6 277,86	4 790,76	9 178,02	6 477,47	14 342,52	15 935,95	15 258,68
Primes d'assurances.....	1 739,15	1 209,09	565,33	1 081,81	684,92	1 794,83	1 221,66
Bibliothèque.....	1 396,67	1 599,08	1 902,61	1 946,10	2 550,13	3 273,14	2 396,82
Impressions et publications.....	5 297,48	6 518,73	5 659,24	2 480,38	1 429,96	4 892,68	1 895,07
Frais de bureau.....	2 384,11	1 911,97	3 247,29	4 332,91	5 518,60	5 957,64	5 764,95
Voyages.....	686,10	401,89	481,89	916,66	2 301,35	1 333,78	1 425,34
Versements à la Caisse de retraites.	13 000,00	13 000,00	13 000,00	13 000,00	15 000,00	15 000,00	-
Frais divers et imprévus.....	1 671,20	1 530,46	2 724,15	1 743,42	3 976,95	6 007,70	4 821,62
Différences de change.....	-	-	11 116,90	-	-	-	-
Moins-value des titres.....	-	-	26 720,29	-	-	-	-
Provision pour remboursements aux États.	-	-	72 860,00	11 222,00	-	-	-
Total.....	199 729,10	182 861,91	287 352,05	196 250,90	228 528,82	301 274,67	266 407,71

Mr le PRÉSIDENT remercie Mr VOLET de son très intéressant exposé qui montre les importants résultats obtenus grâce à l'activité du Bureau International.

Aucune observation n'étant présentée, Mr le PRÉSIDENT invite le Comité à se partager en deux Commissions : une Commission des Travaux et une Commission Administrative dont la tâche sera d'examiner, non seulement les questions financières, mais encore toutes celles qui ne concernent pas les travaux scientifiques. Le nom de « Commission Administrative » donné à cette seconde Commission convient mieux que celui de Commission des Finances utilisé précédemment; aucune confusion n'est en outre possible avec la Commission qui fut créée autrefois sous le nom de « Commission Administrative Permanente » et qui, devenue inutile, a cessé de fonctionner depuis de nombreuses années.

Les Commissions sont ainsi formées :

Commission Administrative : MM. CASSINIS, FIELD, ISNARDI, KARGATCHIN, NUSSBERGER, ROŠ, YAMAUTI.

Commission des Travaux : MM. DE BOER, BOURDOUN, CRITTENDEN, DANJON, OTERO, SIEGBAHN, VIEWEG.

Pendant une suspension de séance, les deux Commissions se sont ainsi constituées :

Commission Administrative.—Président : Mr CASSINIS; Rapporteur : Mr ISNARDI.

Commission des Travaux.—Président : Mr CRITTENDEN; Rapporteur : Mr VIEWEG.

Mr VOLET indique que pour faciliter les déplacements des Membres, les séances ultérieures du Comité se tiendront au siège social de la Société Française des Électriciens, 14, rue de Staël, Paris.

La séance est levée à 17^h 25^m.

PROCÈS-VERBAL

DE LA DEUXIÈME SÉANCE,

TENUE A PARIS, 14 RUE DE STAËL.

Vendredi 1^{er} octobre 1954.

PRÉSIDENTE DE Mr J. E. SEARS.

La séance est ouverte à 15^h 10^m.

Sont présents : MM. DE BOER, BOURDOUX, CASSINIS, CRITTENDEN, FIELD, ISNARDI, KARGATCHIN, NUSSBERGER, OTERO, VIEWEG, YAMAÛTI, VOLET.

Assistent à la séance : MM. ASTIN, KOLOSsov et TERRIEN, invités et M^{me} POPANDOPÓULO, interprète.

Mr TERRIEN donne lecture du procès-verbal de la première séance, qui est approuvé.

Mr VOLET signale qu'en plus des visiteurs mentionnés dans son Rapport, il a eu le plaisir de recevoir des Membres du Comité qui sont venus une ou plusieurs fois au Pavillon de Breteuil depuis la précédente session; ce sont MM. DE BOER, CASSINIS, CRITTENDEN, FIELD, SIEGBAHN, VIEWEG. Mr VOLET les remercie de leurs visites qui, avec les échanges de correspondance, ont constitué pour lui un contact précieux.

Les personnes invitées s'étant retirées momentanément, le Comité échange quelques vues sur les élections futures qui doivent compléter son effectif.

A l'occasion d'une lettre de Mr PÉRARD qui, étant loin de Paris lors des premières séances, s'excuse de son absence, le Comité International confirme qu'un Directeur honoraire peut assister à ses réunions.

Sur la proposition de Mr le PRÉSIDENT, le Comité décide d'envoyer à Mr STATESCU un télégramme de salutations.

Mr le PRÉSIDENT aborde la discussion du premier Rapport de la Commission Administrative présenté par Mr ISNARDI, Rapporteur.

Premier Rapport de la Commission Administrative.

La Commission Administrative a tenu sa première séance le mercredi 29 septembre 1954, à 10^h, au Pavillon de Breteuil.

Étaient présents : MM. CASSINIS (Président), ISNARDI (Rapporteur), FIELD, KARGATCHIN, NUSSBERGER, YAMAUTI, Membres de la Commission. Assistaient à la séance : MM. CRITTENDEN, VIEWEG, VOLET, JEANNIN.

Mr CASSINIS donne des détails sur certains points de son Rapport financier. L'attention de la Commission est attirée sur la situation de la Caisse de Retraites. Son actif, qui était de 65 211,68 francs-or au 1^{er} janvier 1952, est tombé à 27 522,48 francs-or au 31 décembre 1953. Cette évolution défavorable s'est poursuivie en 1954. Sur la proposition de Mr VOLET, la Commission suggère au Comité de faire, au profit de la Caisse, l'emprunt de tout le Fonds de Réserve qui s'élevait au 31 décembre 1953 à 32 637,74 francs-or.

Les fonds liquides du Bureau paraissant devoir être prochainement épuisés, la Commission conseille, sur la proposition de Mr CASSINIS, d'autoriser le Directeur à vendre, suivant les besoins, les titres du portefeuille et le lingot d'or, dans l'ordre qui sera jugé le plus opportun par lui.

Les Membres de la Commission prennent connaissance des livres comptables et des pièces justificatives pour les exercices 1952 et 1953. La comptabilité est reconnue en bon ordre et la Commission adresse ses félicitations au Directeur et à l'Archiviste-comptable.

Mr VOLET expose que le Gouvernement français a exonéré de la surtaxe progressive sur le revenu, les traitements des fonctionnaires du Bureau de nationalité étrangère et qu'il étudie actuellement la possibilité d'étendre cette mesure aux fonctionnaires de nationalité française. En attendant la mise en vigueur, probablement prochaine, de cette deuxième disposition, la Commission propose de rembourser aux intéressés le montant de leurs impôts sur les traitements versés par le Bureau.

La Commission estime qu'il y a lieu d'attribuer au personnel scientifique venant de l'étranger une majoration de traitement de 10 % pendant les cinq premières années de présence au Bureau et de 5 % pendant les cinq années suivantes. Cette proposition est inspirée par la nécessité d'attirer au Bureau des physiciens de différentes nationalités.

Le Rapporteur,

T. ISNARDI.

Le Président,

G. CASSINIS.

M. VOLET commente les propositions de la Commission relatives à l'impôt sur le revenu, et l'on convient que ce remboursement des impôts dus par les fonctionnaires français sera calculé comme si le fonctionnaire n'avait d'autres ressources que son traitement au Bureau International et que cette mesure prendra effet à partir de la date à laquelle l'État français l'a appliquée aux fonctionnaires étrangers.

Lecture est ensuite donnée du deuxième Rapport de la Commission Administrative.

Deuxième Rapport de la Commission Administrative.

La Commission Administrative a tenu sa deuxième séance à Paris, le 30 septembre 1954, à 15^h 45.

Étaient présents : MM. CASSINIS (Président), ISNARDI (Rapporteur), FIELD, KARGATCHIN, NUSSBERGER, YAMAUTI, Membres de la Commission. Assistaient à la séance : MM. SEARS, CRITTENDEN, DE BOER, SIEGBAHN, VOLET, TERRIEN.

Le Directeur du Bureau continue son exposé sur le statut du personnel et sur quelques demandes qui lui ont été adressées par ce personnel.

Les fonctionnaires de l'État français reçoivent une prime prénatale six mois avant la naissance d'un enfant, une prime à la naissance et une allocation mensuelle qui cesse au bout de 5 ans pour le premier enfant si celui-ci reste unique, et qui, en aucun cas, n'est payée après l'âge de 20 ans. Ce système complexe a été remplacé, au Bureau, par une allocation mensuelle unique de 7 000 francs français par enfant, payable jusqu'à l'âge de 18 ans, ou de 20 ans en cas d'études supérieures ou d'incapacité de travail de l'enfant. En définitive, les fonctionnaires du Bureau sont normalement avantagés, et même après quelques mois seulement pour le premier enfant. Ce système simple a reçu l'approbation de la Commission.

Le personnel non scientifique du Bureau avait demandé d'atteindre plus rapidement son traitement maximum; une telle mesure donnerait une satisfaction immédiate aux jeunes, mais elle serait probablement mal accueillie plus tard lorsque le traitement resterait inchangé pendant de longues années.

L'État français accorde à ses fonctionnaires une allocation de logement, dont l'importance est fonction du traitement, du nombre d'enfants, et de la qualité du logement. Mr SEARS, avec l'assentiment de la Commission, estime qu'il y a lieu, en cette matière, d'imiter les règles appliquées en France aux fonctionnaires de l'État. Mr VOLET précise que la charge à supporter, de l'ordre de 200 000 francs français, ne serait pas trop lourde.

Mr VOLET signale encore la demande qui lui a été faite d'accorder aux jeunes gens une allocation pendant la durée de leur service militaire. La Commission n'a pas cru devoir accorder cette faveur que l'État français n'a pas prévue pour ses fonctionnaires.

La Commission a ensuite examiné la situation financière et le Règlement de la Caisse des Retraites. En 1952, le Comité International avait demandé à une petite Commission, composée de MM. CASSINIS, DANJON et VOLET, de préparer un nouveau Règlement. Il a paru impossible à cette Commission de proposer un Statut aussi complexe que celui des fonctionnaires d'État et elle a préparé un projet simple. Mr VOLET fait l'historique du Statut des retraites depuis sa création en 1901. Le Statut actuel ayant été sanctionné par la Conférence Générale, Mr ISNARDI,

appuyé par MM. SEARS et CASSINIS, suggéra de demander à la Conférence qu'elle délègue au Comité International le pouvoir de modifier, s'il est nécessaire, le Règlement actuel, sans avoir à en référer à la Conférence, car c'est là une question d'administration. Cette proposition fut approuvée par la Commission.

Afin de préparer cette révision, la Commission proposa, sur le conseil de Mr CASSINIS, que le projet déjà élaboré par la petite Commission fût distribué, avec la documentation utile, à tous les membres du Comité International, afin qu'ils puissent faire part de leurs suggestions à une Commission d'étude qui serait chargée de mettre au point un projet pour 1956. Ce projet serait communiqué aux Membres avant la prochaine session du Comité International.

Après une comparaison du régime des retraites dans les différents pays, plusieurs questions furent envisagées, relativement à l'ancienneté minimum ouvrant droit à une pension de retraite, au taux des cotisations, au montant maximum de la pension, au capital-décès, à la possibilité de souscrire une assurance auprès d'une Compagnie pour éviter les fluctuations de la Caisse du Bureau, sans perdre la garantie d'une pension en francs-or. Mr DE BOER se propose d'étudier ce dernier point.

Un échange de vues a eu lieu ensuite sur l'affectation des logements du Pavillon de Breteuil.

Le Rapporteur,

T. ISNARDI.

Le Président,

G. CASSINIS.

Sur la proposition de Mr VOLET, Mr DE BOER est adjoint à la Commission de la Caisse des retraites, qui est donc ainsi constituée : MM. DE BOER, CASSINIS, DANJON, VOLET.

Mr le PRÉSIDENT demande l'approbation des deux Rapports de la Commission Administrative, ce qui est accordé à l'unanimité.

Le Comité prend ensuite connaissance du premier Rapport de la Commission des Travaux.

Premier Rapport de la Commission des Travaux.

La Commission s'est réunie à Paris le 29 septembre 1954, à 15^h.

Étaient présents : MM. CRITTENDEN (Président), VIEWEG (Rapporteur), DE BOER, BOURDOUN, OTERO, SIEGBAHN, Membres de la Commission. Assistaient à la séance : MM. CASSINIS, FIELD, ISNARDI, KARGATCHIN, NUSSBERGER, SEARS, YAMAUTI; MM. VOLET, TERRIEN, A. BONHOURE, MOREAU, GAUTIER, LECLERC, THULIN, HAMON, YOSHIE, J. BONHOURE et M^{me} POPANDOPOULO, interprète.

Mr le PRÉSIDENT souhaite la bienvenue à tous et propose de considérer plus en détail quelques points essentiels du Rapport que le Directeur du Bureau a présenté au Comité International.

Pour ce qui concerne les *Mètres prototypes nationaux*, la tâche est de retracer les Mètres anciens. Sur le Mètre n° 23, qui appartient maintenant à la République Fédérale d'Allemagne, on a constaté la fragilité des tracés sous l'influence de la rébarbe. Mr VOLET fait circuler des photographies faites à la Société Genevoise d'Instruments de Physique, qui montrent le peu de profondeur des tracés anciens et l'amélioration obtenue par les nouvelles techniques de traçage de cette Société.

Quant aux *étalons de masse*, Mr BONHOURE expose les progrès obtenus dans leur polissage et leur ajustage qui sont effectués désormais au Bureau International. La vérification des Kilogrammes prototypes nationaux est pratiquement terminée.

Le Bureau désire acquérir une nouvelle balance capable de donner le maximum de précision, comme cela a déjà été mentionné à des sessions antérieures; jusqu'ici les crédits manquent.

En ce qui concerne la *base géodésique*, Mr BONHOURE souligne les avantages du nouveau dilatomètre de la Société Prolabo pour fils de 24 m. L'uniformité de la température est réalisée à 0,3 degré près grâce à une circulation d'eau.

Mr TERRIEN donne quelques détails concernant la *comparaison internationale des calibres à bouts plans*. Des diagrammes distribués montrent les différences entre les résultats des mesures faites au Bureau International des Poids et Mesures et ceux obtenus dans les Laboratoires nationaux. Entre le N. P. L. et le B. I. P. M. la différence surpasse les valeurs acceptables. On continue à étudier les causes de ce désaccord. A cette discussion prennent part MM. SEARS et OTERO qui posent des questions sur

les lampes. Une lampe à mercure 198 du B. I. P. M. semble avoir changé. Mr TERRIEN envisage la possibilité d'une influence, découverte par Mr BARRELL au N. P. L., de la pression de l'argon dans le tube à mercure. Mr DE BOER mentionne le déplacement possible vers le rouge par la pression. Mr OTERO recommande de poursuivre l'étude des raies du mercure, du cadmium et du krypton, conformément aux instructions du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre.

Mr TERRIEN parle ensuite du *comparateur photoélectrique* vivement désiré, mais pas encore commandé à cause de son prix élevé. Mr CASSINIS demande quel serait ce prix. Mr VOLET répond que cela dépendra beaucoup du type de comparateur adopté et que l'étude faite par la Société Genevoise d'Instruments de Physique et le Bureau International des Poids et Mesures n'est pas achevée. Mr TERRIEN souligne que le progrès des observations doit aller de pair avec celui du traçage, comme cela a été fait à la Société Genevoise (moins de $0,1 \mu$). On espère que la méthode photoélectrique donnera une précision de $0,01 \mu$ environ. Des progrès récents ont été réalisés concernant les cellules et la stabilité de la température des microscopes photoélectriques. Mr CRITTENDEN tient à noter tout l'intérêt que présentent les travaux poursuivis par la Société Genevoise.

Mr VOLET souligne que le nouveau traçage est peut-être en faveur du Mètre à traits plutôt que du Mètre en longueurs d'onde. Il désire une combinaison du comparateur à microscopes photoélectriques et d'un interféromètre. Mr SEARS est d'accord, mais il rappelle des objections de Mr DANJON sur l'emploi des cellules photoélectriques en métrologie. Mr TERRIEN dit que, dans les mesures astronomiques, la lumière est souvent insuffisante, ce qui n'est pas le cas dans un comparateur. Mr OTERO demande des précisions sur les progrès réalisables dans l'observation visuelle où interviennent les propriétés physiologiques de l'œil. Une discussion sur la précision accessible s'engage entre MM. VOLET, CRITTENDEN, VIEWEG, qui mentionnent la réalisation possible d'une stabilité de $0,0001$ degré au point triple de l'eau.

Mr THULIN parle de l'*installation pour la mesure absolue de g*. Pour éviter les difficultés causées par la diffraction et par le halo du film, on fait usage d'un éclairage à fond noir. Mr THULIN montre des photographies de traits obtenues avec une durée

d'exposition de $0,2 \mu\text{s}$. La fréquence des éclairs sera contrôlée par rapport à l'émetteur Droitwich. Le fonctionnement de la base de temps sera surveillé par un oscillographe cathodique.

Mr FIELD fait quelques remarques sur la méthode de mesure de g au National Research Council (*voir* Annexe 3, p. 130). Les résultats obtenus jusqu'ici ne sont que provisoires. Les dernières traces d'air semblent avoir une certaine influence; il s'agit d'un phénomène de viscosité.

Mr VIEWEG donne quelques détails sur les expériences en préparation à la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, retardées malheureusement par le lent achèvement du bâtiment. Dans les essais de Mr RIECKMANN, la règle elle-même porte la couche photographique. Cette couche semble satisfaisante, la fréquence des étincelles est contrôlée par une horloge à quartz. Les mesures de longueur sont plus difficiles. On espère être prêt pour les mesures définitives au commencement de 1955. Mr RIECKMANN étudie aussi l'influence du mouvement micro-séismique. Mr TUBLIN a observé au cours de ses essais des oscillations rapides (fréquence de l'ordre de 16 Hz) qui ne sont pas très dangereuses et des oscillations lentes, d'une période de quelques secondes, ayant une influence sur l'exactitude des résultats. Pendant la nuit leur amplitude est diminuée.

Mr BOURDOUX dit que l'on fait des expériences à Léningrad. Il espère qu'elles seront terminées vers la fin de 1954.

Mr TERRIEN fait un rapport sur la Section d'*interférométrie*. Des études ont eu lieu sur les sources de lumière (Hg 198, Cd naturel, Kr 84, Kr 86). Grâce à la coopération avec la P. T. B., le Bureau dispose d'une lampe à Kr 86 donnant plus de lumière qu'on ne le pensait. Dans les interférences à grande distance, W. KÖSTERS avait atteint 80 cm avec Kr 84. Mr TERRIEN vient d'arriver à 1 m. Il montre une photographie des anneaux d'interférence à une différence de marche de 1 m, obtenue par une exposition de quelques minutes, avec la raie $0,9856 \mu$ du Kr 86.

Mr CRITTENDEN remercie spécialement Mr TERRIEN pour ses travaux pleins de succès. Prennent part à la discussion MM. FIELD, VOLET, DE BOER, qui s'informent sur les différences de propriétés des lampes à Kr 86 et Kr 84. Mr VIEWEG explique que

jusqu'ici les lampes sont remplies de krypton fourni par Mr Clusius, de l'Université de Zurich. On prépare maintenant à la P. T. B. la séparation des isotopes du krypton selon la méthode de thermodiffusion de Clusius.

Mr LECLERC expose les premiers résultats de ses études sur les *thermistances*. Sous forme de perles d'oxydes semi-conducteurs, à coefficient de température très important (10 fois celui des métaux à 20°C), elles paraissent bien aptes à certaines mesures thermométriques, par exemple à la détermination de la différence de température entre le point de fusion de la glace et le point triple de l'eau. Cependant leurs qualités varient beaucoup d'une fabrication à une autre.

Les meilleurs instruments, conservés à une température constante pendant plusieurs mois, ont montré une stabilité intéressante (variation de leur résistance équivalente à une variation de température de quelques dix-millièmes de degré seulement).

Le courant qui parcourt une thermistance doit être assez bien stabilisé (à 1% près) s'il n'est pas très faible, car la résistance de l'instrument varie avec l'intensité de ce courant.

Enfin, les thermistances présentent un phénomène d'hystérésis qui peut être important pour de grands écarts de température mesurés (0,013 degré pour $\theta_1 - \theta_2 = 100$ degrés dans le cas le plus défavorable). L'importance du phénomène varie d'ailleurs de plusieurs millièmes de degré d'une expérience à l'autre, ce qui est plus grave. Toutefois, pour les meilleurs instruments et pour des différences de température inférieures à 40 degrés, l'hystérésis reste toujours inférieure à 0,001 degré et, de ce fait, n'est plus gênante.

Le Rapporteur,
R. VIEWEG.

Le Président,
E. C. CRITTENDEN.

Mr le PRÉSIDENT constate que ce Rapport n'appelle aucune décision et donne la parole à Mr VOLET pour présenter le projet de révision de la Convention du Mètre.

Mr VOLET rappelle l'enquête effectuée auprès des Gouvernements sur les changements qu'il conviendrait

d'apporter à la Convention du Mètre. Les premiers résultats de cette enquête ont été exposés lors de la précédente session du Comité. Depuis lors aucune autre réponse n'est parvenue.

On peut envisager deux procédures pour modifier la Convention :

Ou bien, comme le soutiennent certains diplomates, une nouvelle Convention doit être signée. Dans ce cas, il conviendrait de laisser la Convention inchangée plutôt que de créer un nouveau document diplomatique.

Ou bien la Conférence Générale, s'appuyant sur l'article 12 de la Convention, se reconnaît le pouvoir de prendre des décisions venant compléter ou modifier quelques clauses de la Convention, comme elle l'a déjà fait à plusieurs reprises.

Mr VOLET rappelle les changements qui ont été suggérés. Certains Pays voudraient que le Président de la Conférence fût élu, au lieu que la présidence fût attribuée au Président de l'Académie des Sciences de Paris (art. 4).

Mr CASSINIS exprime l'avis du bureau du Comité, dans lequel ne se trouve aucun Français : ce modeste privilège accordé à la France est un hommage au Pays où est né le Système Métrique et qui donne asile au Bureau International. C'est d'ailleurs une coutume générale que le Président d'une Assemblée internationale soit choisi dans le Pays où elle tient ses réunions.

Mr OTERO précise que l'Espagne approuve l'article 4, étant entendu que l'honneur revient à l'Académie des Sciences de Paris, conformément au texte même de cet article.

Le cas où le Président de l'Académie serait empêché étant évoqué, Mr le PRÉSIDENT et Mr VIEWEG font remarquer

que la présidence lui étant attribuée, il peut en disposer et se faire remplacer, comme cela s'est déjà produit.

Mr VOLET rappelle ensuite que la dotation annuelle du Bureau International est, en principe, de 250 000 francs, d'après l'article 6 du Règlement annexé à la Convention.

Mr CASSINIS fait valoir que cela n'a pas empêché les États d'acquitter les contributions décidées ultérieurement par les Conférences Générales.

Le Comité estime en conséquence qu'il n'est pas nécessaire de réviser cet article.

Mr VOLET parle ensuite de l'utilité d'élargir le bureau du Comité en lui adjoignant un Vice-Président; bien que la Convention soit muette sur ce point, elle n'interdit pas cette mesure qui paraît sage.

Au sujet de la question de savoir si le Directeur du Bureau International doit être compris dans les 18 Membres du Comité, on confirme l'interprétation exposée aux *Procès-Verbaux de 1952* (p. 116).

Enfin, certains États ont proposé que soient organisées des traductions simultanées en plusieurs langues lors des séances de la Conférence Générale. La réalisation de ce projet entraînerait des dépenses, dont le montant serait disproportionné par rapport aux ressources du Bureau International; il est reconnu que le déroulement des réunions du Comité et de la Conférence, avec l'aide d'un petit nombre d'interprètes, n'est pas sérieusement gêné par l'emploi de la langue française.

Quant aux documents publiés, ils sont déjà très coûteux, et leur impression en plusieurs langues multiplierait considérablement les frais et le travail de publication.

Le Comité approuve donc le maintien du *statu quo*.

Mr VOLET fait enfin un exposé sur les diverses façons de répartir les cotisations entre les États.

Mr YAMAUTI estime qu'il est d'une importance capitale que le Système Métrique soit adopté et répandu aussi largement que possible dans le monde; c'est pourquoi la répartition des contributions doit être strictement équitable. Le mode de répartition actuel est fort simple, mais certaines grandes puissances asiatiques hésitent à prendre une part active au sein de l'Organisation Internationale Métrique, étant donné que souvent leur énorme population ne correspond pas à une richesse aussi grande. Mr YAMAUTI voudrait que le Comité prenne ces faits en considération et les étudie attentivement.

Au cours d'un long échange de vues, on examine successivement « l'éventail » des cotisations, la possibilité de répartir ces dernières selon la richesse nationale, les moyens de faciliter de nouvelles accessions, la justification du droit d'entrée, l'éventualité de fixer les cotisations de la partie complémentaire et de la partie fixe sur des bases différentes, etc.

Il est convenu que cette importante question sera discutée à nouveau au cours d'une séance ultérieure.

La séance est levée à 17^h 25^m.

PROCÈS-VERBAL

DE LA TROISIÈME SÉANCE,

TENUE A PARIS, 14 RUE DE STAËL.

Lundi 4 octobre 1954.

PRÉSIDENCE DE Mr J. E. SEARS.

La séance est ouverte à 15^h 10^m.

Sont présents : MM. BOURDOUN, CASSINIS, CRITTENDEN, FIELD, ISNARDI, KARGATCHIN, NUSSBERGER, OTERO, ROŠ, VIEWEG, YAMAUTI, VOLET.

Assistent à la séance : MM. KOLOSOSOV et TERRIEN, invités, M^{me} POPANDOPOULO, interprète.

Excusé : Mr DE BOER.

Le procès-verbal de la deuxième séance est lu et approuvé après de légères retouches.

Mr le PRÉSIDENT propose l'envoi de télégrammes de salutations aux Membres honoraires du Comité. Il fait remarquer que les Membres honoraires ont le droit d'assister aux séances; il sera donc inutile de les inviter comme on l'avait proposé, il suffira de leur annoncer la date des réunions du Comité International.

Mr VOLET présente un Tableau chronologique montrant, par Pays, quels furent les Membres du Comité depuis l'origine.

Mr le PRÉSIDENT ajoute que, pour les élections en vue, il conviendrait de prendre en considération non seulement la nationalité des Membres, mais aussi le domaine scientifique dans lequel ils sont experts, électricité, photométrie, spectroscopie par exemple.

Mr le PRÉSIDENT reprend la discussion sur la révision de la Convention du Mètre.

Au sujet de l'article 6 du Règlement annexé, il observe que la clause relative aux États débiteurs de contributions peut être appliquée avec quelque souplesse, et l'expérience a montré qu'il est sage d'agir ainsi.

Mr le PRÉSIDENT estime qu'une modification importante de la Convention du Mètre, excepté le cas d'un simple changement de la dotation, doit être faite par la voie diplomatique, afin d'éviter toute contestation ultérieure. Une Commission d'étude devrait être spécialement désignée pour préparer une telle révision.

Mr VOLET confirme que la Conférence Générale a plusieurs fois usé du droit de révision inscrit à l'article 12, et il en fait l'historique :

Première Conférence (1889) : changement de la dotation et institution d'une procédure d'exclusion des États retardataires pour le paiement de leurs contributions.

Troisième Conférence (1901) : nouveau changement de la dotation.

Quatrième Conférence (1907) : changement du mode de répartition des contributions.

Cinquième Conférence (1913) : institution d'une partie fixe et d'une partie complémentaire constituée par les contributions des États entrés dans la Convention après la Cinquième Conférence Générale.

Septième Conférence (1927) : changement de la dotation.

Neuvième Conférence (1948) : changement de la dotation.

Seule la Sixième Conférence (1921) a apporté des changements à la Convention du Mètre en procédant à l'établissement d'une nouvelle Convention diplomatique (du 6 octobre 1921). Il s'agissait d'étendre les attributions du Bureau International et d'augmenter sa dotation.

MR CRITTENDEN fait observer que les propositions devraient être soumises au préalable aux Gouvernements des États signataires. Cette année les délais nécessaires ne peuvent pas être respectés puisqu'il n'y a eu jusqu'ici aucune proposition formelle. On ne peut donc pas changer la Convention pour le moment.

MR CASSINIS remarque, une fois de plus, que la Convention en vigueur laisse une liberté suffisante. En 1921, il a fallu étendre les attributions du Bureau International à des questions de physique qui ne figuraient pas dans la Convention de 1875, notamment celle des mesures électriques nécessitant un appareillage coûteux et un personnel compétent. De plus, la Conférence Générale de 1921 survint immédiatement après une interruption due à la guerre, ce qui pouvait justifier la signature d'une nouvelle Convention. Ce serait inutile maintenant. L'article 6 du Règlement nous permet d'introduire la demande d'une dotation s'élevant à 300 000 francs-or.

Mr le PRÉSIDENT suggère que l'on pourrait peut-être, sans changer la Convention elle-même, modifier seulement le Règlement.

Mr ISNARDI objecte que le Règlement a été approuvé en même temps que la Convention et qu'il a même force et valeur que cette dernière.

Mr le PRÉSIDENT remarque que l'on pourrait alors faire un seul document.

Pour faciliter les adhésions nouvelles, Mr VOLET propose que les contributions constituant le droit d'entrée soient celles des années précédant la date d'entrée; elles seraient ainsi moins importantes au lendemain d'un accroissement de la dotation. Le Comité est habilité à adopter cette disposition; il a déjà décidé, par exemple, que le paiement de cette contribution d'entrée pouvait être échelonné sur trois années (*Procès-Verbaux*, 1946, p. 114).

Le Comité accepte cette proposition.

Mr YAMAUTI fait remarquer qu'il donne son accord en tant que Membre du Comité, au sein duquel il n'est pas représentant d'un pays particulier.

Mr le PRÉSIDENT demande à Mr VIEWEG de lire les Rapports de la Commission des Travaux.

Deuxième Rapport de la Commission des Travaux.

La Commission s'est réunie à Paris le 30 septembre 1954, à 10^h.

Étaient présents : MM. CRITTENDEN (Président), VIEWEG (Rapporteur), DE BOER, BOURDOUN, OTERO, SIEGBAHN, Membres de la Commission. Assistaient à la séance : MM. CASSINIS, FIELD, ISNARDI, KARGATCHIN, SEARS, YAMAUTI; MM. VOLET, TERRIEN, A. BONHOURE, MOREAU, GAUTIER, THULIN, HAMON, J. BONHOURE et M^{me} POPANODOPOULO, interprète.

La Commission a continué l'examen des travaux effectués par le Bureau International.

Mr TERRIEN commente les travaux de la Section de *photométrie* et particulièrement les mesures de photométrie hétérochrome fondées sur la courbe internationale des efficacités lumineuses relatives. Avec l'assistance de K. YOSHÉ, il a obtenu des résultats qui diffèrent d'environ 2 %, pour le lumen à 2788° K, par rapport à la moyenne des autres Laboratoires. On recherche les causes de ce désaccord.

Mr TERRIEN mentionne la recommandation du Comité Consultatif de Photométrie de faire des comparaisons internationales de lampes étalons de température de couleur; on devrait en fixer la date. Lui-même ne croit pas qu'il y ait urgence, car plusieurs Laboratoires nationaux sont actuellement occupés à une redétermination de leur échelle de température de couleur. Quant à la date prévue des prochaines comparaisons internationales photométriques, qui est 1955, Mr TERRIEN propose que le Comité autorise de la retarder éventuellement.

Mr MOREAU expose les bons résultats obtenus avec les *thermomètres à mercure en silice fondue*. La stabilité dans le temps et après chauffes prolongées jusqu'à 100° C est remarquable; on observe toutefois une très faible hystérésis après des chauffes à 400-500° C. La difficulté d'obtenir des tiges en quartz n'est pas encore entièrement surmontée. La Société Quartz et Silice, en France, a réalisé de bons capillaires au laboratoire, mais la production en série n'est pas encore satisfaisante. Quelques thermomètres en quartz du Bureau International se trouvent au National Physical Laboratory, où leurs qualités ont été éprouvées.

Mr GAUTIER donne quelques indications sur les projets pour la réalisation de l'*Échelle Internationale de Température* avec des thermomètres à résistance. Il donne des détails sur le nouveau pont de Smith du National Physical Laboratory, comportant des bobinages modernes de manganine enfermés dans du plexiglas et dont le Bureau désire s'inspirer; ce pont travaille à 27° C où l'influence de la température sur la manganine est à peu près nulle. Mr VOLET souligne l'importance de l'acquisition d'un tel pont pour le Bureau International et désire obtenir l'autorisation de le commander aussitôt que les finances le

permettront. Mr VIEWEG demande des explications sur l'influence des forces exercées sur le fil par la résine polyacrylique. Mr GAUTIER précise qu'il s'agit de tubes dans lesquels la manganine se trouve sans contraintes; il indique que la constance de température de l'installation est réalisée à 0,01 degré près.

Mr GAUTIER expose ensuite un projet de *manobaromètre*; le niveau du mercure serait contrôlé par des mesures électriques de capacité et les distances seraient lues sur une échelle divisée; l'appareil serait en acier inoxydable et prévu pour une distance des niveaux d'un mètre. Mr VIEWEG propose une méthode de mesure électrique de la verticalité par le partage de l'électrode en deux parties. Mr ISNARDI demande des précisions sur la méthode d'emploi; c'est une méthode de zéro. Mr TERRIEN signale la réalisation nouvelle, purement optique, adoptée pour le baromètre du National Physical Laboratory. Mr DE BOER attire l'attention sur la possibilité de formation de couches électriques, dites doubles, sur la surface du mercure; Mr VIEWEG confirme cette observation critique. MM. VOLET et SEARS soulignent l'importance des méthodes optiques qui sont susceptibles de fournir une sensibilité de l'ordre du micron.

Au sujet des *travaux électriques*, Mr GAUTIER présente un rapport et rappelle que la prochaine comparaison internationale devrait être prévue pour 1955; on consultera par correspondance le Comité Consultatif, dont la Commission approuve à l'avance les conseils.

La Commission passe à l'examen des Rapports des Comités Consultatifs.

Mr DE BOER, Président du *Comité Consultatif de Thermométrie*, commente le Quatrième Rapport de ce Comité, établi par Mr HALL (*voir* p. T 44). Après discussion, il est convenu que la proposition 1 du Comité Consultatif sera présentée au Comité International pour qu'elle soit soumise à la Conférence Générale. La rédaction approuvée est la suivante :

« *Le Comité International des Poids et Mesures recommande que l'on définit désormais l'échelle thermodynamique au moyen du point triple de l'eau comme point fixe fondamental.*

« *Il recommande que l'on attribue par définition à la*

température du point triple de l'eau dans l'échelle thermodynamique la valeur numérique 273,16° K exactement. »

Une discussion animée, à laquelle prennent part MM. CRITTENDEN SEARS, ISNARDI, CASSINIS, VOLET et DE BOER, a lieu sur la recommandation du Comité Consultatif de Thermométrie concernant le tableau des échelles internationale et thermodynamique (voir p. T 23). On décide de remplacer « indication de l'unité » par « indication » ; de plus, il est remarqué que ce tableau introduit de véritables définitions nouvelles, ce qui conduit la Commission à adopter le tableau modifié suivant, dans lequel les flèches indiquent le sens du passage de la température définie en premier lieu à la température dérivée par changement d'origine.

ECHELLE INTERNATIONALE.

Température internationale t indication : °C (Int. 1948) degré Celsius international 1948	→ | | | | |	Température internationale Kelvin $T_{\text{int}} = t + 273,15$ (exactement) indication : °K (Int. 1948) degré Kelvin international 1948
---	---------------------------	--

ECHELLE THERMODYNAMIQUE.

Température thermodynamique Celsius $t_{\text{th}} = T - 273,15$ (exactement) indication : °C (therm.) degré Celsius thermodynamique	← | | | | |	Température thermodynamique T indication : °K degré Kelvin
--	---------------------------	--

Mr DE BOER propose que le Comité International demande à la Conférence Générale l'autorisation d'apporter les légères modifications nécessaires à l'Introduction de l'Échelle Internationale de Température pour qu'elle soit en harmonie avec la nouvelle échelle thermodynamique. Après une discussion, où Mr YAMAUTI ne s'exprime pas en faveur de cette proposition, elle est adoptée finalement à l'unanimité.

On discute ensuite la proposition 2 du Comité Consultatif concernant la gravité, discussion à laquelle prennent part MM. SEARS, CRITTENDEN, CASSINIS, ISNARDI, DE BOER, VIEWEG. On adopte finalement la rédaction suivante qui est destinée au Comité International, mais non à la Conférence Générale :

« Le Comité International des Poids et Mesures recommande que les valeurs de la gravité qui interviennent dans la détermination pratique de la pression atmosphérique normale, soient exprimées dans le système de Potsdam jusqu'à ce que le Comité International ait sanctionné l'emploi d'un autre système. »

Le Rapporteur,
R. VIEWEG.

Le Président,
E. C. CRITTENDEN.

Troisième Rapport de la Commission des Travaux.

La Commission s'est réunie à Paris le 4 octobre 1954, à 10^h.

Étaient présents : MM. CRITTENDEN (Président), VIEWEG (Rapporteur), BOURDOUN, OTERO, SIEGBAHN, Membres de la Commission. Assistaient à la séance : MM. CASSINIS, FIELD, ISNARDI, KARGATCHIN, NUSSBERGER, SEARS, YAMAUTI; MM. VOLET et TERRIEN; M^{me} POPANDOULO, interprète.

Mr VOLET expose la question de la définition de l'atmosphère normale, question soulevée par l'Organisation Internationale de Normalisation (I. S. O.). La Physikalisch-Technische Bundesanstalt a aussi signalé sur ce point que l'Échelle Internationale de Température de 1948 semble donner deux définitions de l'atmosphère normale. Mr VOLET s'étonne qu'on ait pu penser que les Conférences Générales avaient sanctionné simultanément deux définitions de l'atmosphère normale. Cela est absolument contraire à nos principes actuels. Il faut admettre, d'autre part, lorsque la Conférence donne une définition, que celle-ci remplace la définition antérieure. Le fait que la définition actuelle de l'atmosphère normale a été donnée à l'occasion de l'Échelle Internationale de Température n'infirme pas ce point de vue, car toutes les définitions successives que les Conférences ont données de cette gran-

deur l'ont été pour les besoins de la thermométrie. Cependant, Mr VOLET ne voit pas d'inconvénient à demander à la Conférence Générale de faire une déclaration à ce sujet. Il préparera un projet de résolution. On reviendra sur ce point à l'une des prochaines séances plénières du Comité International.

Le premier Rapport du *Comité Consultatif pour la Définition du Mètre*, établi par Mr PERUCCA (voir p. M 33), est examiné. Mr FIELD lit les six Propositions émises par ce Comité. Les Propositions 3 et 4 ne soulèvent pas de discussion; les quatre autres font par contre l'objet d'échanges de vues entre MM. SEARS, CASSINIS, OTERO, ISNARDI, FIELD, CRITTENDEN et VIEWEG. On demande à une petite Commission, formée de MM. CASSINIS, FIELD et VIEWEG, de préparer une Résolution pour le Comité International concernant la définition du mètre.

Mr BOURDOUX signale que les travaux de l'Institut de Métrologie de Léningrad sur la définition du mètre à partir de la longueur d'onde de la raie rouge de l'isotope Cd 114 sont déjà terminés et publiés (voir Annexe 2, p. 121).

La Commission désire exprimer ses remerciements au Comité Consultatif pour la Définition du Mètre pour son travail actif et fécond.

La question des symboles est posée par Mr VOLET, qui lit une proposition de l'I. S. O. faite à la réunion de 1952 à Copenhague, demandant que le Comité International, ou même la Conférence Générale, fixe un symbole pour le *radian*. Après une discussion (MM. CASSINIS, SEARS, CRITTENDEN, ISNARDI, VIEWEG et VOLET), on décide à l'unanimité de ne pas considérer cette question, qui ne touche ni aux unités fondamentales, ni aux définitions de même niveau.

L'I. S. O. demande aussi qu'on adopte un symbole pour le *carat métrique*, unité définie par la Conférence Générale de 1907, mais hors de la liste fondamentale des unités du Système Métrique. Cette unité prête à confusion parce qu'on emploie aussi le mot « carat » pour désigner le titre des alliages des métaux précieux. On décide de ne pas considérer cette question, qui pourrait être traitée par des organisations professionnelles compétentes.

Le Rapporteur,
R. VIEWEG.

Le Président,
E. C. CRITTENDEN.

Après cette lecture Mr VIEWEG présente, au nom de la Commission, le projet de Résolution suivant :

« Le Comité International recommande, 1^o que le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre poursuive son travail aussi activement que possible; 2^o que le Bureau International des Poids et Mesures soit équipé avec l'appareillage convenable moderne, aussi bien pour les mesures par les méthodes interférentielles que pour l'étude des traits et les comparaisons. »

Mr le PRÉSIDENT demande si ce projet de Résolution doit être présenté à la Conférence Générale.

Il s'ensuit un échange de vues, au cours duquel sont réexaminées les propositions du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre.

Mr ISNARDI fait remarquer qu'il semble contradictoire de se référer à la raie rouge du cadmium pour fixer une longueur d'onde plus précise.

Mr VOLET approuve cette remarque, mais si l'on a convenu d'agir ainsi, c'est que l'incertitude qui en résulte est faible. Mr le PRÉSIDENT estime qu'elle est inférieure à celle qu'entraînerait une comparaison directe au Mètre étalon; la raie rouge du cadmium ne servira d'ailleurs que pour effectuer les opérations du passage à la définition future.

Mr CRITTENDEN rappelle que la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium est à la base de toutes les tables spectroscopiques; il ne voit rien de contradictoire dans la procédure envisagée, qui a d'ailleurs été, comme le confirme Mr CASSINIS, soigneusement étudiée par le Comité Consultatif.

En conclusion de ces discussions, le Comité décide :

1^o d'approuver l'ensemble des 2^o et 3^o Rapports de la Commission des Travaux, en particulier : *a.* le tableau

des définitions, désignations et abréviations des échelles de température (*voir* p. 82); *b.* la proposition 2 du Comité Consultatif de Thermométrie, modifiée par la Commission des Travaux (*voir* p. 83), concernant les valeurs de la gravité. Il est toutefois jugé inutile de soumettre ces deux dernières recommandations à la sanction de la Conférence Générale;

2° de confier à Mr VOLET le soin de rédiger un projet de Résolution sur la définition du mètre pour être soumis à la Conférence Générale.

Mr TERRIEN s'étant retiré, la séance continue par un échange de vues sur les logements du Pavillon de Breteuil, et sur les indemnités de logement.

Mr le PRÉSIDENT met le Comité au courant de la situation créée par le fait que Mr TERRIEN ne désire pas venir loger au Pavillon de Breteuil dans l'appartement qui est destiné au Sous-Directeur. Il expose les raisons invoquées par Mr TERRIEN. Elles sont acceptées par le Comité. Il signale aussi que Mr BONHOUR, pressenti, a réservé sa réponse.

Il résulte de l'enquête à laquelle s'est livré Mr le PRÉSIDENT que le principe qui a servi de base à l'attribution d'une indemnité de logement devrait être révisé. Il a été admis, jusqu'à maintenant, que le fait pour le Directeur et le Sous-Directeur d'être logés au Pavillon de Breteuil constituait un avantage équivalent à 10 % du traitement. Or, il doit être considéré que cet avantage s'accompagne de contraintes et de servitudes. Ces appartements sont vastes et entraînent par suite des frais exceptionnels d'installation et d'entretien. Pour meubler les pièces de réception de l'appartement du Directeur, une démarche faite en vue d'obtenir l'aide du « Mobilier National » n'a pas abouti. Le Pavillon de Breteuil se trouve un peu isolé

dans le Parc de Saint-Cloud, lequel est fermé la nuit (à 20^h en hiver). Il est convenu, de plus, que le Directeur et le Sous-Directeur logés acceptent la responsabilité d'exercer une haute surveillance sur la sécurité du Bureau International.

Pour ces diverses raisons, Mr le PRÉSIDENT est arrivé à la conclusion que les deux appartements visés doivent être offerts gratuitement. Les indemnités de logement seraient donc supprimées et les traitements correspondants seraient majorés en conséquence.

Mr VIEWEG fait observer que la région entourant le Pavillon de Breteuil est assez mal équipée au point de vue hôtelier, et il demande s'il ne serait pas possible de réserver un des logements aux hôtes qui viennent au Bureau International pour effectuer un travail déterminé.

Mr VOLET reconnaît la justesse de cette observation. Il pense toutefois qu'il serait dommage d'immobiliser un appartement qui risquerait de n'être utilisé qu'assez rarement, attendu que la résidence au Pavillon de Breteuil ne permet pas aux étrangers de profiter facilement des ressources de tout ordre qu'offre Paris.

En conclusion, le Comité approuve la proposition de Mr le PRÉSIDENT. Il est spécifié que le Directeur *doit* loger dans l'appartement qui lui est destiné. Quant au deuxième appartement, il sera offert à ses collaborateurs dans l'ordre hiérarchique. Toute renonciation au droit d'être logé sera définitive et notifiée par écrit.

Mr le PRÉSIDENT demande à Mr VOLET de préparer un projet de Statut du personnel tenant compte de ces décisions.

La séance est levée à 17^h 25^m.

PROCÈS-VERBAL

DE LA QUATRIÈME SÉANCE,

TENUE A PARIS, 14 RUE DE STAËL.

Samedi 9 octobre 1954.

PRÉSIDENTE DE MR J. E. SEARS.

La séance est ouverte à 10^h 10^m.

Sont présents : MM. DE BOER, BOURDOUN, CASSINIS, CRITTENDEN, FIELD, ISNARDI, KARGATCHIN, NUSSBERGER, OTERO, ROŠ, VIEWEG, YAMAUTI, VOLET.

Assistent à la séance : MM. HOWLETT, KOLOSOV et TERRIEN, invités; M^{me} POPANDOPOULO, interprète.

Le procès-verbal de la séance précédente est lu et approuvé.

Reprenant la question des symboles, Mr VOLET donne lecture de la lettre de l'I. S. O. demandant à la Conférence Générale de choisir un symbole pour le radian. Il craint que la décision prise par le Comité de ne pas se prononcer sur les symboles du radian et du carat ne cause une déception aux organismes qui le consultent et reconnaissent ainsi son autorité.

Mr le PRÉSIDENT et Mr DE BOER confirment leur avis : les symboles d'unités doivent être discutés par l'U.I.P.P.A. et l'I.S.O.; le Comité International et la Conférence

Générale peuvent sanctionner leurs recommandations, mais ne doivent pas décider. C'est ce qui a été fait en 1948 lorsque la Conférence Générale a sanctionné une liste de symboles déjà adoptée par l'U. I. P. A.

Mr DE BOER explique les raisons de cette demande de l'I. S. O. ; si la Conférence Générale sanctionne un symbole, toute discussion nouvelle sera interdite à l'I. S. O. Mais il croit que le Comité International ne doit pas discuter des questions de ce genre, qui ne sont pas de sa compétence et qui, de plus, sont nombreuses, et lui attireraient bien des difficultés.

Mr VIEWEG donne un exemple de ces difficultés : *rad* est employé en radiologie avec un sens différent.

Mr VOLET se range aux avis exprimés et le Comité confirme sa décision de s'abstenir dans le choix des symboles.

Mr le PRÉSIDENT demande au Comité de nommer la Commission de révision de la Convention du Mètre; l'accord se fait sur les six membres suivants : MM. DE BOER, CASSINIS, DANJON, NUSSBERGER, VIEWEG, VOLET. La création de cette Commission pourra être portée à la connaissance de la Conférence Générale.

Mr le PRÉSIDENT met en discussion l'établissement du texte d'une Résolution à proposer à la Conférence concernant le changement de définition de l'unité de longueur.

Mr VOLET lit la Résolution adoptée par la Neuvième Conférence Générale en 1948 et remarque qu'aujourd'hui on ne pourrait guère dire autrement. Il souhaite toutefois que la Conférence Générale exprime plus clairement son intention; qui est de ne pas encore changer la définition du mètre. Ainsi qu'on l'a fait remarquer à la troisième

séance de la Conférence, nous ne pouvons pas être tenus pour responsables des comptes rendus erronés que les agences de presse donnent de nos Résolutions. Par contre, nous avons le devoir de les rédiger en termes non ambigus.

Mr DANJON rappelle qu'une situation analogue s'est présentée à la Conférence des Constantes fondamentales de l'Astronomie en 1950; elle a recommandé nettement de ne rien changer.

Mr VOLET présente un projet de Résolution qui est discuté point par point.

Mr le PRÉSIDENT, MM. ISNARDI et DANJON insistent pour qu'il soit spécifié qu'on ne préjuge pas des décisions futures et qu'on dise que l'on ne change pas *pour le moment*.

Mr DE BOER demande que la Conférence affirme, dès maintenant, que la longueur d'onde actuellement admise de la raie rouge du cadmium servira à assurer le passage à la définition nouvelle.

Mr DANJON estime qu'on ne doit pas fixer les clauses d'une opération qui n'est pas encore décidée, surtout si une clause équivaut à dire que l'unité de longueur est l'angström; nous serions en contradiction avec la décision de ne rien changer.

Une discussion générale s'engage, en conclusion de laquelle Mr VOLET exprime l'avis que la technique du passage d'une définition à l'autre est de la compétence du Comité, non de la Conférence. Or, le Comité est bien d'accord avec la procédure recommandée par le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre, la Conférence n'a donc pas à y revenir.

Mr le PRÉSIDENT est du même avis, et Mr DE BOER se déclare satisfait.

Mr le PRÉSIDENT désire qu'on spécifie que les travaux recommandés sont urgents et doivent être poursuivis activement.

Mr OTERO estime que le Comité doit exprimer nettement s'il désire ou non que la définition de l'unité de longueur soit changée à l'avenir. Certains peuvent penser que la définition actuelle est abandonnée, d'autres, qu'un changement est inutile. Il faut les informer sans équivoque.

Mr TERRIEN rappelle les termes choisis par le Comité Consultatif pour traduire son appréciation : il « envisage favorablement une nouvelle définition ».

Mr le PRÉSIDENT souligne que le caractère *impérissable* de la définition envisagée est fondamental ; une résolution ne devrait pas se terminer sur une négation, elle devrait au contraire impliquer l'affirmation de notre objectif, qui est de donner au mètre une définition plus satisfaisante.

MM. DANJON, VIEWEG et OTERO confirment que, si le moment n'en est pas venu, on décide positivement d'ajourner le changement tout en activant les travaux préparatoires et en soulignant les progrès réalisés depuis 1948.

Ces échanges de vues ayant fait apparaître nettement les éléments que l'ensemble du Comité désire introduire dans une résolution formelle, l'établissement d'un texte définitif est renvoyé à la séance suivante.

Mr VOLET présente un projet de Résolution concernant le retraçage des Mètres ; la discussion montre que ce texte devra être amendé.

Mr le PRÉSIDENT ouvre la discussion sur le projet de

Statut du Personnel établi par Mr VOLET, conformément aux décisions prises dans la précédente séance. Il se différencie de l'ancien Statut par le relèvement des traitements de début pour les mécaniciens, dactylographes, calculateurs et assistants. La classe des secrétaires-dactylographes a été scindée en deux. Les indemnités de logement sont supprimées. Les traitements des Adjoints et Sous-Directeur sont augmentés.

Un échange de vues a lieu, à la suite duquel il est décidé de supprimer les classes chez les Assistants et les Adjoints. Le Statut est finalement adopté sous la forme suivante :

STATUT DE PERSONNEL
DU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES.

(Octobre 1954.)

	Traitement annuel (en francs-or).	Limite d'âge.
Directeur.....	16 000 à 20 000	70
Sous-Directeur.....	13 000 à 16 000	70
Adjoints.....	9 000 à 13 000	70
Chefs de Travaux.....	9 000	68
Assistants.....	4 000 à 8 000	68
Calculateurs.....	2 500 à 4 000	66
Archiviste-comptable.....	3 500 à 8 700	70
Secrétaires.....	4 000 à 6 000	66
Dactylographes.....	2 500 à 4 000	64
Mécaniciens.....	2 500 à 5 500	64
Gardiens.....	2 500 à 3 800	64

Le traitement annuel de Mr A. BONHOUR est fixé à 12 650 francs-or et celui de Mr TERRIEN à 14 000 francs-or. Ces dispositions prendront effet à partir du 1^{er} janvier 1955.

A propos du logement du petit pavillon, qui reste encore libre actuellement, Mr VIEWEG désire mentionner

qu'au cours d'une récente réunion officieuse du Comité International provisoire de Métrologie légale l'idée a été émise que cette organisation, lorsqu'elle sera définitivement fondée, pourrait éventuellement être logée dans ces locaux.

Mr VOLET confirme que certains États n'ont pas cessé d'émettre l'opinion que le Bureau International des Poids et Mesures et la Métrologie légale ne devraient être que les deux parties d'une seule organisation. Même dans cette éventualité, Mr VOLET estime qu'il serait regrettable d'affecter ce logement à des bureaux. Mais la Métrologie légale tend au contraire à s'organiser d'une façon complètement autonome. Dans ces conditions le Comité International des Poids et Mesures, qui a reçu de la France le Pavillon de Breteuil dans un but bien déterminé, ne pourrait de sa propre autorité l'affecter, même partiellement, à un usage non prévu.

La séance est levée à 12^h.



PROCÈS-VERBAL

DE LA CINQUIÈME SÉANCE,

TENUE A PARIS, 14 RUE DE STAËL.

Lundi 11 octobre 1954.

PRÉSIDENTICE DE Mr J. E. SEARS.

La séance est ouverte à 10^h 10^m.

Sont présents : MM. DE BOER, BOURDOUX, CASSINIS, CRITTENDEN, FIELD, ISNARDI, KARGATCHIN, NUSSBERGER, OTERO, ROŠ, VIEWEG, YAMAUTI, VOLET.

Assistent à la séance : MM. KOLOSOSOV et TERRIEN, invités ; M^{me} POPANODOPOULO, interprète.

Excusé : Mr SIEGBAHN, qui a dû partir pour Stockholm.

Après la lecture du procès-verbal de la séance précédente, Mr DE BOER exprime l'avis qu'il vaudrait mieux que ce dernier soit moins détaillé, mais qu'il soit photocopié et distribué avant la séance. Mr VOLET exprime ses regrets, la maladie d'une secrétaire n'ayant pas permis de photocopier ce document. Le procès-verbal qui vient d'être lu sera revu, puis adressé à tous les Membres avant l'impression.

Mr le PRÉSIDENT passe à l'examen du projet de Résolution relatif à la nouvelle définition du mètre. Il expose

que le Comité International présentera à la Conférence Générale une seule Résolution résumant les propositions que le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre a lui-même adoptées. Un projet de texte, établi à la suite des discussions de la quatrième séance, est soumis aux Membres.

Mr OTERO demande que l'on insiste davantage sur les progrès considérables déjà accomplis et sur la nécessité d'activer encore les recherches.

Après une discussion à laquelle prennent part Mr le PRÉSIDENT, MM. DE BOER, CASSINIS, DANJON, ISNARDI, OTERO, VIEWEG, VOLET, l'accord est réalisé sur le projet de Résolution suivant à soumettre à la Conférence Générale.

Projet de Résolution (1).

« La Dixième Conférence Générale des Poids et Mesures, ayant pris connaissance de l'état d'avancement des travaux que la Neuvième Conférence Générale avait recommandés dans sa Résolution I dans le but d'établir éventuellement une nouvelle définition du mètre fondée sur la longueur d'onde d'une radiation lumineuse,

appréciant l'importance des résultats acquis grâce aux recherches des grands Laboratoires, des savants spectroscopistes et du Bureau International;

reconnaissant que, malgré les importants progrès réalisés, les recherches sur les radiations monochromatiques doivent être complétées,

renouvelle en conséquence aux grands Laboratoires et au Bureau International son invitation à poursuivre aussi activement que possible leurs études sur les radiations monochromatiques, en vue de permettre à la Onzième Conférence Générale de prendre une résolution définitive,

et décide de ne pas encore changer la définition du mètre » (1).

(1) Cette Résolution a été adoptée sans modification par la Dixième Conférence Générale.

Mr VOLET soumet également un projet de Résolution sur le retraçage des Prototypes nationaux qui, après de légers amendements, est approuvé sous la forme suivante :

Projet de Résolution (2).

« La Dixième Conférence Générale des Poids et Mesures, considérant les récents progrès réalisés dans la connaissance de la structure des traits gravés sur les Prototypes délivrés par la Première Conférence Générale des Poids et Mesures, et dans l'exécution de traits d'une haute qualité,

attire l'attention des Pays adhérents à la Convention du Mètre sur la possibilité qu'ils ont actuellement d'améliorer leurs étalons nationaux en les faisant munir d'un nouveau tracé » (1).

Mr le PRÉSIDENT revient sur la question des logements et traitements du Personnel. Le Comité prend connaissance d'une lettre dans laquelle Mr TERRIEN expose qu'il renonce définitivement au logement qui lui était offert au Pavillon de Breteuil. Le Comité prend acte de cette renonciation.

Mr le PRÉSIDENT ayant demandé à MM. TERRIEN et VOLET de se retirer, pose la question du traitement du Directeur du Bureau. Il estime qu'en raison des charges qu'entraîne l'occupation de l'appartement directorial, ce traitement pourrait être fixé à 19 000 ou 20 000 francs-or. Le Comité adopte ce dernier chiffre.

Mr VOLET ayant été rappelé, remercie le Comité et n'ose penser que cette décision soit uniquement due à ses mérites. Il croit pouvoir l'attribuer en partie aux charges nouvelles qui lui incombent. Mr le PRÉSIDENT lui répond : « En prenant cette décision nous avons pensé à tout ».

Mr TERRIEN rentre en séance.

Mr le PRÉSIDENT demande à Mr DANJON d'introduire la question de la définition de l'unité de temps.

Mr DANJON présente un magistral exposé développant sur certains points la Note qui a été distribuée aux Membres du Comité (*voir* Annexe I, p. 119) et dont la conclusion serait de donner à la seconde la définition suivante :

1 seconde = $1/31\,556\,925,975$ de l'année tropique pour 1900,0 ⁽²⁾.

Mr le PRÉSIDENT remercie Mr DANJON de son exposé clair et documenté.

Mr le PRÉSIDENT, MM. CASSINIS et VOLET proposent de soumettre dès maintenant la définition ci-dessus à l'approbation de la Dixième Conférence Générale.

Mr DE BOER demande quelle est l'opinion des physiciens sur la question.

Mr DANJON répond que cette définition a été fournie à la demande des physiciens dont les horloges à quartz ont une précision suffisante pour que soient décelées les irrégularités de la seconde terrestre. Les physiciens seront bien alors obligés de mesurer le temps que leur donnent les astronomes.

Mr VOLET précise que la Conférence Générale a toute autorité pour adopter la nouvelle définition de l'unité de temps pour le service international des poids et mesures qui est directement intéressé par la question, ne serait-ce que pour les mesures de l'accélération due à la pesanteur.

Mr le PRÉSIDENT souhaite que la Conférence Générale adopte cette définition sans limitation à certains usages.

⁽²⁾ Voir aussi sur cette question : A. DANJON, *Sur la définition de l'unité de temps* (*Comptes Rendus des séances de la Dixième Conférence Générale des Poids et Mesures*, Annexe III, p. 91).

MR DE BOER propose qu'une Résolution relative à la définition de l'échelle thermodynamique soit présentée à la Conférence Générale sous une forme qui condense les quatre propositions du Comité Consultatif de Thermométrie de 1954. Un projet sera établi et discuté à la séance suivante.

MR VOLET lit un projet de Résolution qu'il propose de soumettre à la Conférence Générale et qui rend hommage à l'UNESCO pour les résultats que cette organisation a obtenus en vue de faciliter le passage en douane des instruments scientifiques délicats.

MR le PRÉSIDENT, MM. OTERO et VIEWEG, tout en reconnaissant l'intérêt du système préconisé par l'UNESCO, pensent que les Résolutions de la Conférence Générale doivent se limiter à des sujets d'ordre purement scientifique.

Il est décidé que l'UNESCO sera invitée à exposer l'état de la question devant la Conférence Générale et qu'on lui adressera des remerciements.

La séance est levée à 12^h 40^m.



PROCÈS-VERBAL

DE LA SIXIÈME SÉANCE,

TENUE A PARIS, 14 RUE DE STAËL.

Mercredi 13 octobre 1954.

PRÉSIDENCE DE Mr J. E. SEARS.

La séance est ouverte à 10^h5^m.

Sont présents : MM. DE BOER, BOURDOUN, CASSINIS, CRITTENDEN, ISNARDI, KARGATCHIN, NUSSBERGER, OTERO, ROŠ, VIEWEG, YAMAUTI, VOLET.

Assistent à la séance : Mr TERRIEN, invité, M^{me} POPANDOULOU, interprète.

Le procès-verbal de la cinquième séance est lu et adopté.

Mr le PRÉSIDENT donne connaissance d'un télégramme de Mr DEHALU, qui répond à celui que lui a adressé le Comité; il propose ensuite de procéder à l'examen du projet de Résolution sur la définition de l'atmosphère normale.

La discussion fait ressortir qu'il faut se référer à la définition de l'atmosphère normale figurant à la deuxième partie (Définition) de l'Échelle Internationale de Tempé-

rature de 1948 et non à la troisième partie (Recommandations), et que l'on peut y introduire le newton, mais sans laisser croire que c'est là le but de la Résolution.

Mr DANJON demande s'il ne serait pas préférable de dire « valeur » au lieu de « définition » de l'atmosphère.

Mr DE BOER exprime un avis nettement contraire.

Mr VIEWEG demande que l'on donne la définition à la fois en newtons par mètre carré et en dynes par centimètre carré.

On renvoie à la séance suivante l'établissement d'un texte définitif.

Mr le PRÉSIDENT passe à l'examen du projet de Résolution relatif à l'échelle thermodynamique; après un court échange de vues le texte ci-après est approuvé.

Projet de Résolution (3).

« La Dixième Conférence Générale des Poids et Mesures décide de définir l'échelle thermodynamique de température au moyen du point triple de l'eau comme point fixe fondamental, en lui attribuant la température 273,16 degrés Kelvin, exactement » (1).

Mr le PRÉSIDENT donne la parole à Mr DANJON sur le projet de Résolution relatif à l'unité de temps.

Mr DANJON préfère la notation « 1900,0 » à la notation « 1^{er} janvier 1900 à midi moyen Greenwich », ce qui fait une différence de 0,000 02 seconde; l'Union Astronomique Internationale a adopté la notation 1900,0 (qui représente le 1^{er} janvier 1900 à 12^h T. U.).

Mr le PRÉSIDENT attache de l'importance à la procédure

(1) Cette Résolution a été adoptée sans modification par la Dixième Conférence Générale.

et propose que le Comité International demande à la Conférence Générale le pouvoir d'adopter la décision que prendra l'Union Astronomique Internationale en 1955 sur la substitution d'année tropique à année sidérale.

Mr VOLET rappelle que l'Union Astronomique Internationale reconnaît que la Conférence Générale a seule qualité pour donner force de loi à la définition de l'unité de temps. Dans ces conditions pourquoi différer une décision, attendu que le Comité vient de recevoir l'assurance formelle que la définition proposée serait agréée par l'Union Astronomique Internationale ?

Après un échange de vues auquel prennent part MM. DE BOER, CASSINIS, DANJON et OTERO, Mr VIEWEG présente le texte suivant :

Projet de résolution (3).

« La Dixième Conférence Générale reconnaissant la nécessité et l'urgence de donner plus de précision à l'unité fondamentale de temps, considérant que l'aboutissement de l'étude de cette question est imminent, donne au Comité International le pouvoir de décider sur ce point ».

Le Comité décide de soumettre ce projet à la Conférence Générale (2).

Mr le PRÉSIDENT aborde la question du système pratique d'unités.

Mr VOLET rappelle que la Conférence Générale de 1948 a donné mission au Comité International de faire une enquête en vue de l'élaboration d'un système susceptible d'être adopté par tous les pays signataires de la Convention du Mètre. Cette enquête a suscité un grand intérêt

(2) Cette Résolution a été adoptée avec une légère modification par la Dixième Conférence Générale.

dans la plupart des Pays. Il en est résulté un volumineux dossier, qui vient de s'augmenter de deux réponses importantes (Argentine, Italie) et qui, d'après nos informations, doit s'augmenter encore. Ce dossier mériterait une étude détaillée que le Comité International n'est pas en état d'entreprendre. D'autres organisations internationales consacrent de gros efforts à cette question. Peut-être pourrait-on attendre la fin de leurs travaux et se borner à sanctionner leurs décisions.

Toutes les unités mécaniques et physiques sont actuellement bien définies. Mais établir un système, c'est faire un choix entre ces unités, c'est leur donner un nom, un symbole, etc. Pour l'unité de masse on a au moins trois propositions : *kilogramme-masse*, *bes* et *galileo*.

Il ressort de l'enquête en cours, que nul ne propose de prendre le kilogramme-force comme unité fondamentale du système, ni de prendre la tonne comme unité de masse. L'unanimité est donc réalisée sur le choix du mètre, du kilogramme et de la seconde. Peut-être pourrait-on faire sanctionner par la Conférence cette première partie du système, car l'unanimité n'existe plus lorsqu'on passe aux unités électriques et photométriques.

Mr VIEWEG fait remarquer que beaucoup de Pays espèrent une décision de la Dixième Conférence Générale, ainsi que beaucoup d'organismes tels que l'Organisation Internationale de Normalisation (I. S. O.), l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée (U. I. P. P. A.), la Commission Électrotechnique Internationale (C. E. I.). Il constate que l'on ne peut pas proposer un système complet, mais il insiste pour que la Conférence désigne au moins les unités fondamentales de longueur, masse, temps, intensité de courant électrique, température, intensité lumineuse.

Mr CASSINIS déclare que tout le monde est d'accord sur les unités de longueur, masse et temps. D'autre part, le Comité International a déjà sanctionné les définitions de l'ampère et de la candela. Présentement, nous avons donné la définition de l'échelle thermodynamique avec le point triple. Il n'y aura plus qu'une question à étudier, c'est la rationalisation. Il nous suffit de réunir ces unités en un système. Nous sommes d'accord avec l'I. S. O., l'U. I. P. P. A. et la C. E. I., c'est-à-dire avec tout le monde. Personne ne nous fera d'objections.

Mr CASSINIS tient à insister sur le fait que le problème qui se pose n'a pas de rapport avec la Métrologie légale. L'établissement d'un système d'unités est une question exclusive et scientifique, donc du ressort de la Conférence.

Mr le PRÉSIDENT donne son complet accord sur ce point de vue.

Mr ISNARDI dit que l'Argentine ne peut accepter l'adoption de l'ampère et propose la perméabilité magnétique du vide. Il trouve trois objections au choix de l'ampère.

1° L'étalon de l'ampère n'est pas réalisable à cause :

a. de la longueur infinie figurant dans la définition ;

b. de la mesure de la force.

2° Les grandeurs fondamentales doivent être indépendantes ; or l'ampère se rapporte au newton et au mètre.

3° La définition ne tient pas compte des forces électrostatiques qui résultent des chutes de potentiel le long des conducteurs. La définition tient seulement compte des forces magnétiques.

Mr DE BOER n'est pas d'accord avec cette dernière objection et considère que l'on a tenu compte de tout dans la définition de l'ampère.

Mr CASSINIS remarque que si l'on adoptait la perméabilité magnétique du vide, ou pourrait objecter que le vide parfait lui non plus n'existe pas.

Mr le PRÉSIDENT est d'avis qu'une définition ne doit pas être considérée comme un mode opératoire, mais seulement comme une conception théorique.

Mr ISNARDI estime que la définition d'une unité fondamentale doit permettre de réaliser un étalon; Mr DE BOER déclare ne pas partager ce point de vue.

Mr VOLET signale que l'Espagne préférerait l'ohm.

Mr CRITTENDEN propose de faire un pas en avant en adoptant le système M. K. S. pour les unités mécaniques seulement.

Mr ISNARDI appuie cette proposition.

Mr VIEWEG suggère d'ajouter à ces unités mécaniques le degré Kelvin.

Mr ISNARDI rappelle que l'Autriche et l'U. R. S. S. ont adopté comme unité fondamentale la perméabilité magnétique du vide.

Mr BOURDOUN déclare que l'U. R. S. S. a abandonné la perméabilité magnétique du vide pour adopter l'ampère, tel qu'il a été défini par le Comité International.

M. DANJON demande que l'on fixe les unités fondamentales au moins pour les grandeurs mécaniques et ajoute que la France attend une décision avant de changer sa loi sur les unités de mesure.

Mr le PRÉSIDENT charge MM. CASSINIS et VIEWEG de bien vouloir rédiger un projet de Résolution concernant le système pratique d'unités.

La séance est levée à 12^h40^m.

PROCÈS-VERBAL

DE LA SEPTIÈME SÉANCE,

TENUE A PARIS, 14 RUE DE STAËL.

Mercredi 13 octobre 1954.

PRÉSIDENTE DE Mr J. E. SEARS.

La séance est ouverte à 15^h.

Sont présents : MM. DE BOER, BOURDOUN, CASSINIS, CRITTENDEN, ISNARDI, KARGATCHIN, NUSSBERGER, OTERO, ROŠ, VIEWEG, YAMAUTI, VOLET.

Assistent à la séance : Mr TERRIEN, invité, M^{me} POPAN-DOPOULO, interprète.

Mr le PRÉSIDENT ouvre la discussion sur un projet de Résolution relatif à la définition de l'atmosphère normale que Mr VOLET a rédigé en tenant compte des observations présentées à la séance précédente. Quelques amendements sont demandés au texte proposé et la Résolution est finalement approuvée sous la forme suivante :

Projet de Résolution (4).

« La Dixième Conférence Générale des Poids et Mesures, ayant constaté que la définition de l'atmosphère normale donnée par la Neuvième Conférence Générale des Poids et Mesures dans

la définition de l'Échelle Internationale de Température a laissé penser à quelques physiciens que la validité de cette définition de l'atmosphère normale était limitée aux besoins de la thermométrie de précision,

déclare qu'elle adopte, pour tous les usages, la définition :

1 atmosphère normale = 1 013 250 dynes par centimètre carré,
c'est-à-dire : 101 325 newtons par mètre carré » (1).

Mr le PRÉSIDENT demande à Mr CASSINIS de présenter le projet de Résolution concernant l'adoption d'un système pratique d'unités. Dans ce projet, la Dixième Conférence Générale est invitée à se borner à l'adoption des unités fondamentales : mètre, kilogramme, seconde, degré Kelvin, candela.

Une discussion s'engage sur la désignation de ce système.

Mr CASSINIS espère que le nouveau système remplacera un jour tous les autres et voudrait qu'on l'appelât « système unique ».

Mr ISNARDI exprime son scepticisme à ce sujet.

Mr DE BOER n'est pas favorable à l'appellation « pratique », parce qu'il y a déjà un système pratique d'unités électriques.

Mr le PRÉSIDENT rappelle que la Neuvième Conférence Générale, dans sa Résolution 6, fait allusion à un « système pratique international d'unités ». Il se déclare nettement en faveur de l'adoption du mot « pratique ».

Mr ISNARDI voudrait que l'on ne dise pas « unités électriques » mais « unités électromagnétiques ».

(1) Cette Résolution a été adoptée sans modification par la Dixième Conférence Générale.

Mr CASSINIS veut bien se rallier à l'adoption du mot « pratique » car il considère cette question beaucoup moins importante que celle de faire adopter l'ampère. Or celui-ci a déjà été adopté par l'U. I. P. P. A., F. I. S. O. et par la Conférence Générale.

Mr VOLET convient que la définition de l'ampère a été sanctionnée par la Conférence Générale, ainsi que celles des autres unités électriques; mais l'ampère n'a pas été adopté par la Conférence Générale comme unité fondamentale d'un système. Si cela était, la question n'aurait pas à être posée à la Dixième Conférence Générale.

Mr VIEWEG constate que l'accord est virtuellement fait sur les cinq unités : mètre, kilogramme, seconde, degré Kelvin, candela. Il se demande alors s'il est raisonnable de laisser ainsi la mission du Comité International inachevée. Il insiste pour que l'ampère vienne compléter les six unités du système.

Après cet échange de vues, le Comité décide de présenter à la Conférence Générale le projet de Résolution suivant :

Projet de Résolution (6).

« La Dixième Conférence Générale, ayant pris connaissance des premiers résultats de l'enquête prescrite par la Neuvième Conférence Générale en vue d'établir un système pratique de mesures pour les relations internationales,

décide d'adopter comme unités fondamentales du système à établir les unités mécaniques :

mètre,

kilogramme (masse) [désignation pas encore définitive],

seconde,

et les unités thermométrique et photométrique :

degré Kelvin,

candela,

sans préciser pour le moment l'unité électrique ou magnétique, au sujet de laquelle l'accord n'est pas encore fait,

et charge le Comité International des Poids et Mesures de poursuivre cette enquête et l'examen de ses résultats en vue d'arriver le plus tôt possible à des propositions adéquates » (2).

Le Comité procède ensuite, en comité secret, à un échange de vues sur les personnalités à proposer pour pourvoir aux vacances existant dans son sein; à la suite de cette consultation, le Comité décide de présenter à la Conférence Générale les candidatures de MM. ASTIN, BARRELL, ESSERMAN, STULLA-GÖTZ et VÄISÄLÄ.

Les propositions du Portugal, et de l'Espagne et du Portugal ensemble, qui doivent être soumises à la Conférence Générale, sont examinées.

Au sujet de la proposition du Portugal relative aux dispositions susceptibles de hâter la diffusion du Système Métrique dans le monde (voir *Comptes Rendus de la Dixième Conférence Générale*, page 82), Mr le PRÉSIDENT fait observer qu'en formulant des recommandations qui pourraient être considérées comme une ingérence dans les affaires nationales on risque d'aller à l'encontre du but poursuivi.

Mr VOLLET rappelle que l'article 7 du Règlement Annexe à la Convention du Mètre donne cependant pour mission à la Conférence Générale « de discuter et de provoquer les mesures nécessaires pour la propagation et le perfectionnement du Système Métrique ».

Mr CASSINIS estime que la Conférence Générale rendra un plus grand service au Système Métrique en dotant la Science d'un système unique d'unités de mesure.

La proposition présentée par l'Espagne et le Portugal

(2) La Résolution 6 finalement adoptée par la Dixième Conférence Générale présente d'importantes modifications par rapport à ce projet.

demande d'organiser, entre les Pays signataires de la Convention du Mètre, un échange des publications officielles relatives aux Poids et Mesures (voir *Comptes Rendus de la Dixième Conférence Générale*, page 82).

Mr VIEWEG ne pense pas que le Comité International doive appuyer cette proposition.

Mr VOLET considère que c'est une question qui intéresserait l'Organisation Internationale de Métrologie Légale si celle-ci existait.

Mr CASSINIS propose que l'on établisse néanmoins une liste des institutions nationales et qu'on la distribue, chaque Bureau des Poids et Mesures ayant ainsi la possibilité d'informer les autres.

La séance est levée à 17^h 55^m.

PROCÈS-VERBAL

DE LA HUITIÈME SÉANCE,

TENUE A PARIS, 14 RUE DE STAËL.

Judi 14 octobre 1954.

PRÉSIDENTIE DE Mr C. KARGATCHIN,
puis de Mr A. DANJON.

La séance est ouverte à 16^h.

Sont présents : MM. DE BOER, BOURDOUN, CASSINIS, FIELD, ISNARDI, NUSSBERGER, OTERO, VIEWEG, YAMAUTI, VOLET, et les nouveaux Membres MM. ASTIN, BARRELL, ESSERMAN, STULLA-GÖTZ.

Assistent à la séance : MM. CRITTENDEN, ROŠ et SEARS, Membres démissionnaires. Mr PÉRARD, Directeur honoraire du Bureau International; Mr TERRIEN, invité.

Par suite des changements intervenus dans la composition du Comité au cours de la séance de clôture de la Conférence Générale des Poids et Mesures tenue le matin, Mr KARGATCHIN, en tant que Membre le plus ancien du Comité, préside le début de cette séance. Il indique que le Comité doit maintenant reconstituer son bureau et tout d'abord nommer un nouveau Président.

Mr VOLET renseigne le Comité sur les anciens Présidents et rappelle l'article 9 du Règlement Annexé à la

Convention du Mètre concernant la nationalité des membres du bureau.

Mr CASSINIS considère qu'il convient de faire une proposition pour éviter une dispersion des votes. Il rappelle que le Comité n'a jamais eu de Président français. Or, en ce moment, la règle des nationalités nous permet d'en nommer un. Il propose en conséquence Mr DANJON, dont il fait l'éloge, en ajoutant qu'il serait commode que le Président du Comité et le Directeur du Bureau fussent près l'un de l'autre.

Mr DANJON pense que s'il n'y a pas eu de Président français, c'est peut-être le fait d'une tradition acceptée en vue d'accentuer le caractère international du Comité.

Mr DANJON se retire.

Après une brève discussion au cours de laquelle Mr BOURDOUN déclare qu'il soutient vivement la proposition de Mr CASSINIS, Mr DANJON rentre en séance et l'on procède au vote au scrutin secret.

Le vote donne :

Mr DANJON.....	12 voix
Mr VIEWEG.....	1 voix
Bulletins blancs.....	2

Mr KARGATCHIN félicite Mr DANJON et lui cède la présidence.

Mr DANJON remercie le Comité et rend un chaleureux hommage à Mr SEARS qui a présidé le Comité International avec une compétence que lui-même ne pourra avoir. Il remercie Mr SEARS pour les services considérables qu'il a rendus. Dans la nouvelle tâche qui l'attend, Mr DANJON s'inspirera de l'exemple de ses prédécesseurs et trouve un précédent rassurant dans la présence parmi eux d'un astronome W. FOERSTER.

Mr SEARS fait observer qu'il n'y a pas d'exemple au Comité International qu'un Président démissionnaire assiste à l'installation de son successeur. Il ajoute qu'il est très triste de quitter un tel poste. Puis il remet à Mr DANJON les deux exemplaires qu'il possède de la clef du caveau, dont la garde est confiée statutairement au Président du Comité International des Poids et Mesures.

Mr le PRÉSIDENT rappelle ensuite que la Convention du Mètre ne prévoit pas de Vice-Président du Comité International, mais qu'elle ne défend pas d'en avoir un.

Mr BARRELL propose de désigner Mr VIEWEG.

Mr VIEWEG est élu Vice-Président par acclamation.

Mr CASSINIS est confirmé par acclamation dans les fonctions de Secrétaire.

Mr VIEWEG remercie vivement les Membres du Comité de l'avoir élu Vice-Président. C'est, certes, une fonction un peu imaginaire, mais il sait que Mr CRITTENDEN a su néanmoins la remplir avec beaucoup d'efficacité.

Mr CASSINIS remercie aussi ses collègues pour leur marque de confiance.

Mr le PRÉSIDENT exprime encore ses regrets de voir partir MM. SEARS, CRITTENDEN et ROŠ et propose leur nomination comme Membres honoraires, ce qui est accepté par acclamation.

Mr SEARS remercie et ajoute : « C'est pour moi un instant bien mélancolique, mais j'ai pensé que le moment était maintenant arrivé de céder ma place. J'ai fait de très heureuses connaissances avec des personnalités toujours très sympathiques et de grande valeur dans le monde de la science, et pour cela je garderai le meilleur souvenir du temps que j'ai passé avec vous ».

Mr ROŠ dit à son tour : « J'aurai pour vous des mots de reconnaissance et de gratitude. Dans ma vie j'ai croisé mon chemin avec bien des autorités. Mais c'est pour moi un grand honneur d'avoir fait partie du Comité International des Poids et Mesures, au sein duquel je souhaite que soit maintenu très haut le niveau de la science et de la pensée ».

Mr CRITTENDEN : « C'est un grand honneur pour moi d'avoir été Membre du Comité International, et je pars avec regret ».

Mr VOLET tient à dire aussi la peine qu'il éprouve du départ de MM. SEARS, CRITTENDEN et ROŠ, avec lesquels il a échangé depuis quelques années une correspondance suivie qui témoigne de la conscience mise par nos collègues dans l'accomplissement de leur mission. Mr VOLET ajoute que l'aide bienveillante qu'il a reçue de nos Membres démissionnaires lui a été très précieuse. Il leur exprime ses sentiments de gratitude et d'affection.

Mr le PRÉSIDENT, après avoir salué une nouvelle fois ceux qui s'en vont, souhaite la bienvenue aux nouveaux Membres que la Conférence Générale vient de désigner; ce sont MM. ASTIN, BARRELL, ESSERMAN et STULLA-GÖTZ, présents à cette séance, et Mr VÄISÄLÄ à qui un télégramme sera envoyé.

Mr le PRÉSIDENT rappelle que le Comité doit désigner les Membres formant la Commission pour l'étude du Système pratique d'unités.

A la suite d'un échange de vues, cette Commission est constituée comme suit :

Commission du Système pratique d'unités. — Président : Mr BOURDOUX; Membres : MM. BARRELL, DE BOER, CASSINIS, ISNARDI, STULLA-GÖTZ, VIEWEG, VOLET.

Mr le PRÉSIDENT considère qu'il est utile de préciser la tâche de cette Commission, qui n'a pas été suffisamment fixée lors de la dernière séance de la Conférence Générale.

Mr CASSINIS est d'avis que la Commission devrait former un tableau des réponses reçues et se limiter à un examen, sans choisir ni prendre de décisions.

En ce qui concerne la présidence des Comités Consultatifs, Mr VOLET rappelle que la démission de Mr CRITTENDEN prive le Comité Consultatif de Photométrie de président. Il propose que Mr OTERO soit désigné pour le remplacer; cette proposition est adoptée. D'autre part, ainsi que le mentionne le Rapport de Mr le Secrétaire du Comité, Mr DE BOER a été élu récemment Président du Comité Consultatif de Thermométrie.

La liste des Présidents des Comités Consultatifs est donc actuellement la suivante :

Électricité : Mr VIEWEG.

Photométrie : Mr OTERO.

Thermométrie : Mr DE BOER.

Définition du Mètre : Mr FIELD.

Mr le PRÉSIDENT donne la parole à Mr VOLET pour présenter le budget du Bureau International. Mr VOLET commente le projet suivant :

PROJET DE BUDGET POUR 1955 ET 1956.

<i>Recettes.</i>	(francs-or)
Contributions des États.....	355 000
Intérêts des Titres et des Fonds :	
du Compte I.....	2 000
du Compte II.....	-
Deux tiers des taxes de vérification.....	<u>2 000</u>
Total.....	<u><u>359 000</u></u>

Dépenses.

	(francs-or)
A. Personnel :	
Traitements, indemnités, charges de famille.....	210 000
B. Indemnité du Secrétaire.....	3 000
C. Frais généraux d'administration :	
Bâtiments, entretien.....	32 000
Mobilier.....	3 000
Machines et instruments, frais d'atelier et de laboratoire.....	50 000
Chauffage, éclairage, force motrice.....	15 000
Primes d'assurances.....	1 300
Bibliothèque.....	3 000
Impressions et publications.....	15 000
Frais de bureau et de secrétariat.....	6 000
Voyages.....	2 000
Frais divers et imprévus.....	3 700
Versement à la Caisse de retraites.....	15 000
Total.....	<u>359 000</u>

Répondant à une demande de Mr le PRÉSIDENT, Mr VOLET rappelle que le Gouvernement français met à la disposition du Bureau International les bâtiments du Pavillon de Breteuil, à charge pour lui de les entretenir. Cette charge est lourde, car une partie de ces bâtiments est vétuste. Mais elle doit être acceptée de bon gré, eu égard au privilège que constitue pour le Bureau le fait d'être logé au Pavillon de Breteuil.

Mr le PRÉSIDENT, Mr DE BOER et Mr VOLET sont d'accord pour constater que 50 000 francs-or pour la recherche, sur un budget total de 359 000 francs-or, constituent une part insuffisante.

Mr VOLET fait remarquer que les frais d'impression sont considérables maintenant qu'il y a quatre Comités Consultatifs.

Mr le PRÉSIDENT pense que l'on peut trouver des modes

d'impression moins coûteux et le Comité charge le Directeur du Bureau International de faire une enquête sur cette question.

Mr DE BOER trouve que 3 000 francs-or sont relativement faibles comme montant des frais de bibliothèque.

Mr VIEWEG approuve la remarque de Mr DE BOER et souligne la nécessité de favoriser la recherche. Les crédits momentanément disponibles sont trop réduits et il faut chercher des possibilités d'améliorer cette situation.

Mr CASSINIS considère que ce n'était pas 300 000 francs-or que le Comité International devait demander, mais 500 000 francs-or si l'on a l'intention de faire quelque chose pour la recherche.

Mr le PRÉSIDENT rappelle qu'en portant le chiffre de la dotation à 300 000 francs-or on n'a fait que compenser la dévaluation du franc-or. L'ancien franc-or vaut de 180 à 200 francs français et il a été stabilisé à 114 francs. D'autre part, il y a une augmentation réelle des dépenses qui s'explique par la création des sections d'électricité et de photométrie. L'une des principales préoccupations du Comité International doit être celle de l'augmentation des ressources du Bureau International.

Mr VOLET reconnaît la justesse des observations qui viennent d'être présentées. Bien des postes du budget nécessiteraient d'être augmentés, mais cela ne pourrait se faire sans en diminuer d'autres dangereusement. Mr VOLET met son espoir dans quelques nouvelles accessions d'États à la Convention du Mètre. En dehors de cette éventualité, il faudra bien des années au Bureau International pour renouveler ses instruments anciens et reconstituer des réserves, même modestes.

Mr VIEWEG demande si le *Don unique* peut encore apporter quelques ressources au Bureau.

Mr VOLET répond qu'un seul versement annoncé est encore attendu.

M. le PRÉSIDENT met aux voix l'adoption du budget et obtient l'unanimité.

Il signale que l'Ordre du Jour est épuisé et demande si quelqu'un désire la parole.

Mr CASSINIS remarque qu'il devient de plus en plus difficile de tenir les séances de la Conférence Générale dans la bibliothèque du Bureau International, par suite du nombre élevé des délégués qui ont participé à cette dernière session. Autrefois, les Conférences Générales réunissaient une cinquantaine de personnes; maintenant c'est 80. Il faut se réjouir de ce fait, qui est dû à l'augmentation du nombre des États-membres et à l'intérêt croissant que suscitent nos travaux. Pour cette raison, le bureau du Comité n'a pas jugé opportun de limiter le nombre des délégués de chaque État, mais il a pensé qu'une autre solution devrait être envisagée lors des futures Conférences.

Mr BARRELL déclare que pour hâter les recherches en vue de donner une nouvelle définition au mètre, il serait utile que des informations d'intérêt général fussent échangées entre les différents laboratoires sur l'état d'avancement de leurs travaux.

Mr le PRÉSIDENT considère aussi comme utile un échange de correspondance relatif à la nouvelle unité de temps, afin que le Comité International puisse prendre une décision sans retard après l'Assemblée de l'Union Astronomique Internationale, qui doit avoir lieu en août-septembre 1955 à Dublin.

La succession rapprochée des séances du Comité International et de la Conférence Générale n'ayant pas permis d'établir à temps les procès-verbaux des 6^e et 7^e séances du Comité, ce dernier laisse à son bureau le soin d'approuver ces procès-verbaux, ainsi que celui de la présente séance.

Mr le PRÉSIDENT déclare la session close.

La séance est levée à 17^h5^m.

ANNEXE 1.

NOTE SUR LE CHANGEMENT DE DÉFINITION DE L'UNITÉ DE TEMPS

Par A. DANJON,
Directeur de l'Observatoire de Paris.

La Conférence des Constantes Fondamentales, réunie à Paris en 1950 sous ma présidence, a préparé un certain nombre de résolutions que l'Union Astronomique Internationale a adoptées au cours de son Assemblée Générale, à Rome, en 1952.

L'une de ces résolutions concerne la substitution de l'année au jour solaire moyen comme unité de temps. Elle est ainsi conçue : « *Il est recommandé que, dans tous les cas où l'on juge que la variabilité de la seconde de temps solaire moyen s'oppose à son emploi comme unité de temps, l'année sidérale pour 1900,0 soit adoptée comme unité de temps* ». Le jour solaire moyen subit en effet des variations qui, dans l'intervalle des années de 1870 à 1950, ont atteint 10^{-7} . Rien ne permet d'affirmer que des fluctuations encore plus importantes ne se produiront jamais.

Il est donc à craindre que, spontanément, les physiciens et les astronomes adoptent d'autres unités de temps, plus ou moins bien définies. Il pourrait en résulter un grand désordre. Une décision de caractère international, consacrée par la Conférence Générale des Poids et Mesures, devra donc intervenir à bref délai, si l'on veut prévenir la multiplicité des étalons de temps.

La proposition adoptée par l'Union Astronomique Internationale a le grand avantage de ne pas introduire une nouvelle unité, mais de rattacher l'unité traditionnelle à un étalon naturel plus stable que l'ancien.

L'Union Astronomique Internationale ayant décidé de n'apporter aucun changement aux tables du Soleil de Newcomb, c'est à ces tables qu'il faut recourir pour connaître le nombre de secondes contenu dans l'année. Or, elles fournissent immédiatement la durée de l'année tropique, mais non celle de l'année sidérale, qui en diffère en raison de la précession. Si l'on veut adopter un rapport *ne varietur* entre la seconde et l'année, c'est donc l'année tropique et non l'année sidérale qui devrait être prise en considération. Le Docteur Clemence, auteur du texte, à qui j'ai soumis cette remarque, s'est déclaré d'accord avec moi pour substituer « tropique » à « sidérale » dans la résolution. Ce sera aussi, j'en ai la conviction, l'avis de tous les autres spécialistes.

Il y aurait donc lieu d'adopter la définition suivante de l'unité de temps :

« La seconde est la fraction $1/31\,556\,925,975$ de l'année tropique pour 1900,0 ».

On sait construire, dès à présent, sous le nom impropre d'horloges atomiques, des étalons physiques de fréquence de très haute précision ; mais il n'existe à proprement parler aucune horloge physique définissant une échelle de temps à la fois continue et indestructible, et qui puisse être substituée aux phénomènes astronomiques pour assurer le numérotage continu des secondes.

Tant que cette situation ne sera pas modifiée — et il n'y a actuellement aucun indice d'un changement à cet égard — l'unité astronomique de temps devra être conservée. La proposition formulée par l'Union Astronomique Internationale a pour objet d'enlever à la définition de cette unité le caractère d'imprécision dont elle est actuellement entachée.

(Mars 1954.)

ANNEXE 2.

Institut scientifique de Métrologie du nom de D. I. Mendéléev
(U. R. S. S.).

DÉTERMINATION DE LA LONGUEUR D'ONDE
DES RADIATIONS DU CADMIUM 114
DANS LA RÉGION VISIBLE DU SPECTRE

Par N. R. BATARCHOUKOVA, A. I. KARTACHEV
et M. F. ROMANOVA (1).

(Traduction.)

En proposant la raie rouge Cd 114 en qualité de raie fondamentale pour la représentation de l'unité de longueur, nous avons déterminé la longueur d'onde de cette raie dans le rayonnement de la lampe sans électrodes, excitée par le courant de haute fréquence. Nous avons obtenu la valeur suivante de la longueur d'onde de la raie rouge Cd 114 dans l'air normal (air sec, $t = 15^{\circ} \text{C}$, $p = 760 \text{ mm}$ de mercure, teneur en $\text{CO}_2 = 0,03\%$):

$$\lambda = 0,643\,846\,77 \cdot 10^{-6} \text{ m.}$$

Dans le présent travail, nous donnons les résultats des déterminations nouvelles de cette longueur d'onde pour la différence de marche dans l'étalon interférentiel égale à 200 mm, ainsi que ceux des déterminations des longueurs d'onde des raies verte, bleu clair et bleu foncé du spectre Cd 114 pour les diverses différences de marche.

Comme source de lumière on a utilisé trois lampes sans électrodes, remplies de Cd 114; l'une faisait partie de l'ancienne

(1) *Travaux de l'Institut de Métrologie, Léninegrad, 1954.*

série et les deux autres, nos 16 et 18, ont été fabriquées avant le commencement des mesures. Les lampes sans électrodes étaient excitées par le courant de haute fréquence. Le schéma de l'installation utilisée a été décrit dans notre travail précédent [1].

La détermination des longueurs d'onde du Cd 114 a été effectuée par comparaison avec la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium naturel, émise par la lampe à électrodes incandescentes et par la lampe normale du type Michelson. On prenait la longueur d'onde de cette raie dans l'air normal égale à $0,643\ 846\ 96 \cdot 10^{-6}$ m.

Pour la détermination plus précise des excédents fractionnaires de l'ordre d'interférence on a photographié les anneaux d'interférence complets d'égale inclinaison. Pour la prise des photos on employait un objectif spécial à miroir et à lentille de haute qualité $\left(\frac{D}{F} = \frac{1}{6}\right)$.

Le calcul des excédents fractionnaires se faisait comme précédemment d'après les cinq premiers anneaux.

Les différences des excédents fractionnaires de l'ordre d'interférence permettent de calculer la différence des longueurs d'onde d'après la formule

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2 \Delta p}{2d}$$

Dans le tableau I sont données, pour trois lampes sans électrodes, les valeurs des longueurs d'onde de la raie rouge du Cd 114 obtenues par comparaison avec la longueur d'onde du cadmium naturel, émise par la lampe normale de Michelson.

TABLEAU I.

Nos d'ordre.	Nos des lampes.	$\Delta\lambda$ (Å).	λ_m (Å).
1.....	5	—0,001 6	6 438,468 0
2.....	5	—0,001 2	6 438,468 4
3.....	16	—0,001 6	6 438,468 0
4.....	18	—0,002 0	6 438,467 7

La valeur moyenne de la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium dans cette série de mesures est égale à

$$\lambda = 6\ 438,468\ 0_0\ \text{Å}.$$

Chacune des valeurs citées est le résultat moyen de déterminations réitérées, faites par trois observateurs, des diamètres des anneaux sur la même photographie.

Dans le tableau II est donnée une série de valeurs de la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium, obtenues pour la lampe sans électrodes n° 5. Dans ce cas on faisait les comparaisons avec la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium, émise par la lampe à électrodes incandescentes.

TABLEAU II.

Nos d'ordre.	Lampe N°	$\Delta\lambda$ (Å).	λ (Å).
1.....	5	-0,001 3	6 438,468 3
2.....	5	-0,001 4	6 438,468 2
3.....	5	-0,001 5	6 438,468 1
4.....	5	-0,002 1	6 438,467 5
5.....	5	-0,001 7	6 438,467 9

La valeur moyenne de la longueur d'onde de la raie rouge dans cette série de mesures est égale à

$$\lambda = 6\,438,468\,0\text{ Å.}$$

Précédemment [1], on avait obtenu comme résultat de 15 mesures la valeur

$$\lambda = 6\,438,467\,7\text{ Å.}$$

En assignant un poids à la valeur de chaque série selon le nombre de déterminations, nous obtenons la moyenne pondérée

$$\lambda = 6\,438,467\,8\text{ Å,}$$

l'erreur moyenne quadratique des résultats des mesures étant $\pm 0,0001\text{ Å}$.

Sur la figure 1 sont représentés les résultats de mesures des différences Δp des ordres d'interférence de deux raies spectrales comparées (les raies rouges du Cd 114 et du cadmium naturel). En abscisses est portée la différence de marche des faisceaux interférents, en ordonnées les valeurs Δp correspondant aux 23 mesures séparées faites durant deux années.

La figure 2 représente des anneaux d'interférence (en positif) obtenus avec la raie rouge de l'isotope Cd 114 (partie α) et avec

la raie rouge du cadmium naturel dans la lampe normale (partie *b*). Le déplacement très petit de certains anneaux par rapport aux autres montre quelque différence dans la longueur d'onde de la raie rouge du Cd 114 et du cadmium naturel.

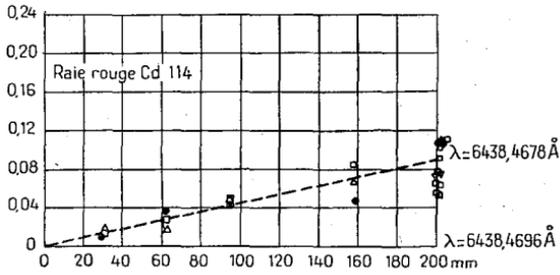


Fig. 1.

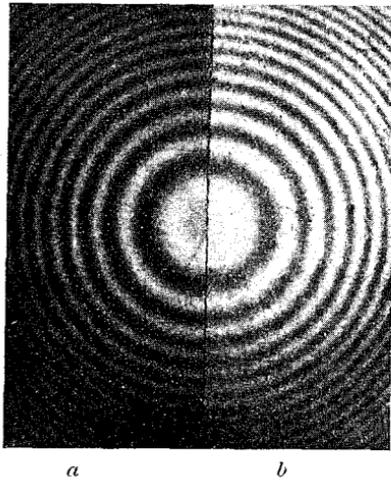


Fig. 2.

L'affaiblissement du fond dans les minimums et l'accroissement des contrastes des anneaux d'interférence prouvent encore une fois d'une manière évidente la diminution de largeur de la raie rouge de l'isotope Cd 114. La photographie a été obtenue pour une différence de marche de 200 mm.

Lors des déterminations interférentielles des mesures de longueurs à bouts, il faut employer d'ordinaire, non pas une seule raie, mais plusieurs raies spectrales, réparties dans toute la région du spectre visible. Dans les mesures au comparateur interférentiel, on emploie quatre raies du spectre du krypton et six raies de l'hélium. Un grand avantage est donné par la source de lumière qui émet la raie spectrale principale et qui possède encore dans la région visible du spectre une série de raies auxiliaires, réparties commodément pour la détermination de l'ordre d'interférence par la méthode des coïncidences. Les sources de lumière du cadmium sont celles dont l'emploi pour les mesures interférentielles absolues permet d'obtenir immédiatement la longueur de l'étalon à bouts en fonction de la longueur d'onde de la raie spectrale principale. Les sources de lumière du cadmium naturel n'ont pas trouvé jusqu'à aujourd'hui un large emploi dans les mesures interférentielles car seule une raie rouge, ayant une structure hyperfine étroite, pouvait être employée pour les mesures interférentielles précises.

C'est tout autre chose avec les sources de lumière, remplies de Cd 114, dont les raies n'ont pas de structure hyperfine. La présence de quatre raies qui n'ont pas de structure hyperfine et qui sont situées assez loin l'une de l'autre dans le spectre visible, rend la source de lumière à Cd 114 très commode pour la détermination non seulement de la partie fractionnaire de l'ordre d'interférence, mais aussi de la partie entière.

Pour avoir la possibilité d'employer largement une telle lampe à cadmium dans les mesures interférentielles des longueurs, il est nécessaire de déterminer les valeurs des longueurs d'onde des raies verte, bleu clair et bleu foncé dans le spectre Cd 114.

Lors de ces mesures, à cause de la grande différence entre les valeurs de ces longueurs d'onde et la valeur de la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium naturel, on ne pouvait pas se borner à déterminer seulement la partie fractionnaire de l'ordre d'interférence et il était nécessaire de déterminer la partie entière par la méthode des coïncidences.

Les parties fractionnaires de l'ordre d'interférence ont été déterminées de la même façon que pour la raie rouge du cadmium, par des mesures sur les photographies des diamètres des cinq premiers anneaux interférentiels. Avant et après la prise de photos on mesurait la température et l'humidité de l'air ambiant.

On introduisait dans les valeurs obtenues des parties fractionnaires les corrections, tirées des tableaux, pour la réduction des longueurs d'onde aux conditions des déterminations. Ces corrections ont été calculées d'après la formule de réduction recommandée par le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre [2].

On a étudié au total 17 photos, à quatre différences de marche, pour quatre tubes sans électrodes. Les résultats des mesures sont donnés dans le tableau III.

TABLEAU III.
Longueurs d'onde λ (en Å).

<i>2d</i> (mm.)	Lampes.			
	N° 2.	N° 3.	N° 4.	N° 5.
<i>Raie verte.</i>				
32,961.....	5 085,817 9	5 085,817 5	-	5 085,818 3
60,582.....	9 6	8 8	-	9 1
93,882.....	9 9	9 3	-	9 7
<i>Raie bleu clair.</i>				
32,961.....	-	4 799,907 7	-	4 799,908 1
60,582.....	4 799,909 5	9 2	4 799,909 2	9 5
93,882.....	9 6	9 5	9 5	9 7
200,032.....	-	-	-	9 7
<i>Raie bleu foncé.</i>				
32,961.....	4 678,146 6	4 678,144 9	4 678,146 6	4 678,145 6
60,582.....	7 6	7 3	7 8	7 7
93,882.....	7 6	7 6	-	8 1
158,140.....	-	8 0	-	-
200,032.....	-	-	-	8 1

Sur les figures 3, 4 et 5 sont représentés les résultats des mesures de longueurs d'onde du spectre Cd 114. De même que pour la raie rouge du cadmium, la différence de marche dans l'étalon interférentiel est portée en abscisses et, en ordonnées, la grandeur Δp qui correspond au changement de l'ordre d'interférence pour les raies de l'isotope Cd 114 par rapport à l'ordre

d'interférence pour les valeurs adoptées des longueurs d'onde du cadmium naturel.

On voit sur les figures que, pour toutes les longueurs d'onde, les points qui correspondent aux diverses différences de marche

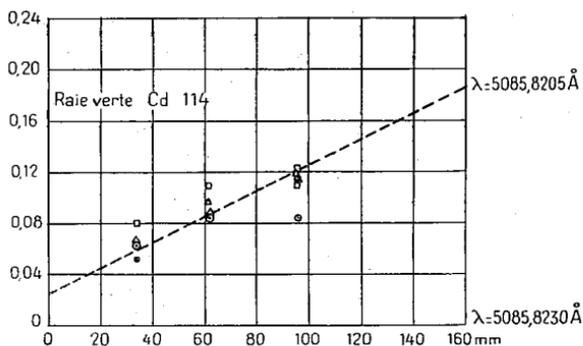


Fig. 3.

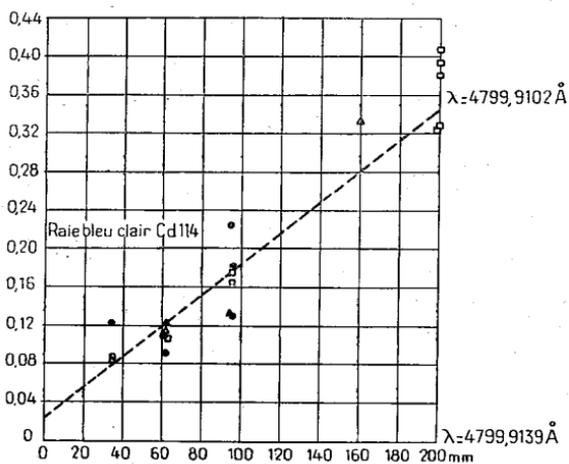


Fig. 4.

sont bien disposés le long de droites. Ceci montre l'absence de structure hyperfine pour les raies émises par Cd 114, ainsi que la reproductibilité suffisamment élevée des longueurs d'onde pour les diverses différences de marche dans l'étalon. Les droites ne

passent pas par l'origine des coordonnées, ainsi que cela avait lieu pour la raie rouge du cadmium (*fig. 1*). Ceci s'explique par la dispersion de la perte de phase à la réflexion de la lumière sur les surfaces argentées de l'étalon.

Le phénomène de la dispersion de la perte de phase a été pris en considération et la valeur des longueurs d'onde a été corrigée d'après les formules connues [3] :

$$\Delta\lambda' = \frac{(\lambda'' - \lambda') d_2}{d_2 - d_1} \quad \text{et} \quad \Delta\lambda'' = \frac{(\lambda'' - \lambda') d_1}{d_2 - d_1},$$

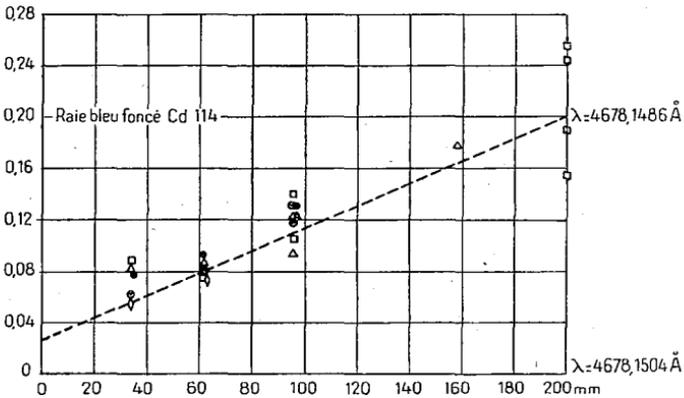


Fig. 5.

où λ' est la valeur de la longueur d'onde obtenue pour la différence de marche $2d_1$ et λ'' celle de la longueur d'onde pour la différence de marche $2d_2$. Le terme correctif $\Delta\lambda'$ est introduit dans la valeur de la longueur d'onde pour la différence de marche $2d_1$ et $\Delta\lambda''$ pour la différence de marche $2d_2$ quand $d_2 > d_1$.

Les calculs ont été faits pour toutes les combinaisons possibles des différences de marche deux à deux, et le terme correctif pour chaque différence de marche était la moyenne de tous les termes correctifs calculés.

Les valeurs définitives des longueurs d'onde pour l'air normal (moyenne de toutes les mesures) corrigées de la dispersion de la perte de phase sont données dans le tableau IV.

TABLEAU IV.

Raie spectrale.	Nombre de mesures.	λ (Å).
Verte.....	9	5 085,820 5
Bleu clair.....	11	4 799,910 2
Bleu foncé.....	13	4 678,148 6

L'erreur quadratique moyenne du résultat des mesures ne dépasse pas $\pm 1,8 \cdot 10^{-4}$ Å.

Pour la commodité de l'emploi pratique des sources de lumière à Cd 114, on a établi le tableau des excédents fractionnaires de l'ordre d'interférence pour les différences de marche qui correspondent aux valeurs nominales des étalons à bouts jusqu'à 100 mm et les nomogrammes auxiliaires.

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] N. R. BATARGHOUKOVA, A. I. KARTACHEV et M. F. ROMANOVA, *Rapports de l'Académie des Sciences de l'U. R. S. S.*, t. 90, n° 2, 1953, p. 153, et *Procès-Verbaux du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre*, Annexe M 13 (Voir ce volume p. M 88); voir aussi l'Annexe M 12, p. M 86.
- [2] B. EDLÉN, *J. Opt. Soc. Amer.*, t. 43, 1953, p. 339.
- [3] K. W. MEISSNER, *J. Opt. Soc. Amer.*, t. 31, 1941, p. 405.

ANNEXE 3.

National Research Council (Canada).

MESURE ABSOLUE
DE L'ACCÉLÉRATION DUE A LA PESANTEUR

(Traduction.)

L'appareil pour la détermination de la valeur de g au National Research Council, à Ottawa, a été monté et plusieurs chutes expérimentales ont été effectuées à de très basses pressions de l'ordre de $0,05 \mu$ de mercure.

La règle primitive où les échelles étaient supportées sur deux tiges parallèles en invar a été modifiée. Les échelles ont été fixées sur une barre profilée en U, en acier inoxydable non magnétique, pour les expériences préliminaires et des barres de différentes autres substances seront utilisées au fur et à mesure de l'avancement des expériences.

La fréquence des éclairs (10 par seconde) de la source lumineuse est maintenant contrôlée au moyen d'un signal étalon de fréquence, lui-même comparé aux étalons du Dominion Observatory à Ottawa aussi souvent qu'il est nécessaire.

La moyenne de douze chutes expérimentales effectuées jusqu'à présent à la pression d'environ $0,05 \mu$ de mercure donne pour g une valeur de $980,616 \text{ cm/s}^2$. Cette valeur devrait être considérée seulement comme provisoire jusqu'à ce que l'on ait effectué des recherches complémentaires sur les erreurs systématiques et autres. Des comparaisons récentes avec la base fondamentale du Dominion Observatory, qui a été elle-même reliée indirectement à celle de Potsdam, donnent $g_{\text{NRC}} = 980,626 \text{ cm/s}^2$ dans le système de Potsdam.

Une quinzaine de chutes supplémentaires ont été faites à des pressions s'étendant jusqu'à 18 mm de mercure. D'après les quel-

ques résultats obtenus jusqu'à présent, on tire l'indication que l'accélération de la règle augmente encore lorsque la pression décroît, même à des pressions inférieures à plusieurs microns. D'autres expériences sont en cours dans cette région de basses pressions.

(23 août 1954.)



ANNEXE 4.

National Research Council (Canada).

QUELQUES RÉSULTATS
DES MESURES DE L'EFFET DE LA PRESSION
SUR LA LONGUEUR D'ONDE
DES RAIES DU MERCURE 198

Par K. M. BAIRD.

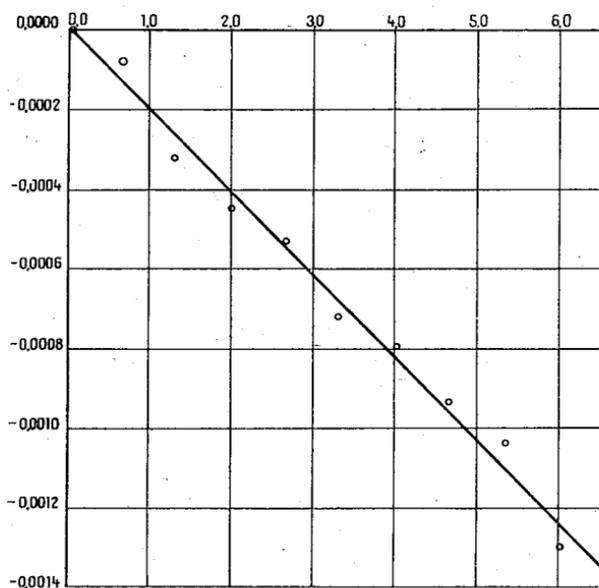
L'effet de la pression du gaz contenu dans la lampe, sur la longueur d'onde de la raie verte de ^{198}Hg émise par la lampe sans électrodes (type Meggers), a été mesuré récemment aux National Research Laboratories du Canada. Les résultats de ces mesures sont donnés dans la figure.

Ces résultats ont été obtenus en relevant directement les modifications produites sur les longueurs d'onde par un changement donné de la pression. Chaque point représente une détermination individuelle de la modification de la longueur d'onde, lorsque la pression passe de la valeur indiquée à une valeur inférieure à 0,1 mm et retourne ensuite à sa valeur de départ.

Les observations ont été faites au moyen d'un appareil spécial qui permet de lire directement l'excédent fractionnaire de l'ordre d'interférence dans un étalon de Fabry-Perot dont la longueur est connue. Cet appareil utilise une méthode photoélectrique au moyen de laquelle la séparation optique des plans peut être rendue égale à un nombre entier de longueurs d'onde par l'ajustage de la pression du gaz qui entoure ces plans (1).

(1) K. M. BAIRD, *J. Opt. Soc. Amer.*, t. 44, 1954, p. 11.

La pression du gaz à l'intérieur de la lampe était réglée au moyen d'une communication avec un appareil à vide et une source d'argon. La lampe, qui contenait 2 mg de ^{198}Hg , fonctionnait à 20°C et était observée en travers. L'excitation était produite au moyen d'un oscillateur de 250 MHz.



En abscisses : pression d'argon en mm Hg.

En ordonnées : $\delta\nu$ (cm^{-1}) pour la raie 5461 Å de ^{198}Hg .

Ces expériences, qui sont en cours dans nos laboratoires, font partie des recherches et des comparaisons concernant les longueurs d'onde étalons proposées.

(Octobre 1954.)

ANNEXE 5.

National Research Council (Canada).

L'ÉTAT ACTUEL DES TRAVAUX
SUR L'ÉTABLISSEMENT D'UN ÉTALON PRIMAIRE
D'INDUCTANCE MUTUELLE
ET SON UTILISATION
POUR UNE DÉTERMINATION ABSOLUE
DE L'UNITÉ DE RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE

Par M. ROMANOWSKI.

L'intention de réaliser l'ohm absolu aux laboratoires du National Research Council à Ottawa remonte aux environs de l'année 1934. Dès cette époque, il avait été décidé que la méthode serait celle d'un pont à fréquence, ce qui conduisait à construire un étalon d'inductance mutuelle dont la valeur fût calculable à partir de ses dimensions géométriques. Le cylindre en quartz fondu (opaque) destiné à porter l'enroulement primaire a été réalisé avec succès par la Maison « Quartz et Silice » de Paris. Ce cylindre a une longueur totale de 50 cm, un diamètre extérieur de 30 cm et ses parois ont une épaisseur moyenne de 4 cm. Pour l'usinage du cylindre et la construction du comparateur destiné à la mesure de son diamètre, on a suivi les méthodes qui ont été établies par Ch. Moon, du National Bureau of Standards, et qui utilisent les peignes-polissoirs pour former la rainure hélicoïdale dans laquelle le fil primaire doit se placer. Le comparateur, appelé aussi « compas d'épaisseur », est formé d'un anneau d'invar suspendu par trois fils et mobile dans le sens vertical. Il est muni de deux palpeurs, diamétralement opposés, qui permettent de

comparer le diamètre de l'hélice à la longueur d'une broche à bouts sphériques.

Diverses difficultés ont freiné l'exécution de ces travaux, déjà longs par leur nature. La guerre a produit un arrêt total pendant plusieurs années. Cependant, grâce à l'effort soutenu des promoteurs du projet, les travaux sur le cylindre ont été repris et menés à bonne fin. La construction des parties essentielles du comparateur à anneau et de ses divers organes a été aussi terminée. Le réglage de ce comparateur et les travaux expérimentaux sur l'étirage du fil de cuivre ont eu lieu en 1949-1950. L'enroulement primaire définitif a été réalisé dans le cours de l'été 1951. La fabrication des broches à bouts sphériques en quartz fondu (en vue de simplifier quelque peu le problème des dilata-tions au cours des mesures) s'est révélée une opération délicate. Après plusieurs tentatives la technique a pu être mise au point et trois broches ont été réussies, dont l'une a été utilisée comme étalon dans le compas d'épaisseur. Leurs qualités métrologiques sont équivalentes à celles des broches en acier et leur longueur est égale, à quelques microns près, au diamètre des hélices.

Les mesures du diamètre des hélices ont été exécutées au début de 1952. Elles ont permis de constater que l'uniformité des quatre diamètres mesurés est très bonne, aucune spire ne s'écartant du diamètre moyen de plus de 3μ .

Le diamètre du fil est obtenu en mesurant des échantillons prélevés sur le fil immédiatement avant et après l'enroulement de chacune des hélices. L'uniformité du fil de l'enroulement même est vérifiée d'une façon continue pendant l'étirage par un dispositif placé à la sortie de la filière. Une série de mesures préliminaires a permis de calculer avec une précision suffisante le diamètre du « cercle neutre » de l'inducteur de Campbell. Le secondaire, dont les dimensions sont basées sur ce diamètre, est constitué par un enroulement remplissant une rainure à section carrée de 1 cm de côté creusée dans un anneau en marbre blanc de 50 cm de diamètre. Le nombre des spires du secondaire est calculé de façon à fournir une inductance mutuelle de 10 mH en valeur nominale.

Le principe de l'instrument destiné à la mesure des dimensions axiales est analogue à celui d'un comparateur longitudinal, la génératrice étudiée et une règle divisée (50 cm) étant placées dans le prolongement l'une de l'autre. Le poids du cylindre et son encombrement conduisent à déplacer l'ensemble des deux

microscopes et non le cylindre et la règle, ce qui oblige à prendre de grandes précautions pour assurer la rigidité du chariot mobile. Les parties essentielles d'un bon tour d'atelier forment la base de ce comparateur. Les microscopes ont été construits par la Société Genevoise d'Instruments de Physique; ils sont reliés par des tiges d'invar.

L'un des microscopes pointe les traits de la règle, tandis que l'autre pointe un trait gravé sur la surface supérieure polie d'une touche-cavalier, analogue à celle qui a été utilisée en 1937 par Ch. Volet au Bureau International pour l'étalon du Laboratoire Central d'Électricité (1). Le dispositif qui porte la touche porte aussi un miroir vertical dont les déplacements peuvent être mesurés au moyen d'un interféromètre fixé à l'une des extrémités du comparateur. Les distances entre spires sont ainsi mesurées par deux méthodes différentes dont le point commun est évidemment le repérage du fil par le cavalier. Les résultats fournis par les deux méthodes sont en excellent accord; aucune différence n'atteint 1μ .

La règle de 50 cm a été comparée aux décimètres d'un Mètre étalon en invar dont les corrections sont bien connues.

L'isotope 198 du mercure a été utilisé dans toutes les mesures interférentielles (deux radiations jaunes et une verte). L'interféromètre a été muni du dispositif à papillotement mis au point ces dernières années par le Dr Baird, de la Section de Métrologie.

La mesure des broches en quartz a aussi été faite par interférométrie au moyen des radiations précitées, auxquelles on a encore ajouté la radiation violette. En même temps qu'étaient conduits les travaux expérimentaux ci-dessus, une grande attention a été vouée aux problèmes mathématiques du calcul de l'inductance et des corrections correspondantes, surtout en vue de déterminer la précision du résultat en partant de la précision sur les données résultant des mesures.

Des procédés nouveaux ont été utilisés pour le calcul des corrections dues au diamètre fini du fil primaire, à la section normale de l'enroulement secondaire (2) et à la perméabilité magnétique du cylindre de quartz.

(1) *Bull. Soc. Fr. Électr.*, 5^e série, t. VIII, 1938, p. 632-640.

(2) Ces calculs nous ont conduits à envisager la construction d'une bobine secondaire en verre, plus facilement mesurable et d'une section plus proche du carré parfait, produisant donc une correction plus faible.

Toutes les dimensions de la bobine étant ainsi déterminées, le calcul de son inductance mutuelle a été fait au printemps 1954. La valeur de l'étalon, telle qu'elle résulte de ces calculs, est

$$M = 0,010\ 007\ 248\ \text{H.}$$

Au fur et à mesure du développement de nos travaux électriques, toutes les mesures se trouveront finalement rapportées à cet étalon fondamental.

Il est légitime de s'attendre à une excellente stabilité de la part d'un cylindre en quartz fondu. Toutefois, nous nous proposons de le remesurer très prochainement afin d'avoir une preuve expérimentale de cette stabilité. Ce sera l'occasion de perfectionner nos méthodes de mesure et de fixer définitivement nos opinions sur la précision de leurs résultats.

Le pont à fréquence est placé dans un bâtiment amagnétique spécialement construit à cet effet. Le principe du pont a déjà été publié (3). Il suffit de mentionner ici qu'il comporte plusieurs modifications importantes par rapport aux ponts utilisés par les expérimentateurs des autres laboratoires nationaux. Ainsi, entre autres, il comprend une inductance mutuelle égale au double de celle de l'étalon et qui doit être exactement connue; en plus, tous les enroulements importants sont en manganine et l'inductance propre figurant dans les équations du pont est éliminée expérimentalement.

Dans le dispositif actuel, plusieurs éléments n'ont pas encore atteint leur forme définitive et plusieurs corrections posent des problèmes délicats. Toutefois, les mesures préliminaires paraissent indiquer que, dans l'ensemble, la détermination de l'ohm est en voie de progression normale.

Il est possible d'envisager aussi un développement futur intéressant par l'application du pont à fréquence au problème de la constitution de l'échelle des inductances.

(Octobre 1954.)

(3) *Canad. J. Phys.*, t. 30, 1952, p. 631-636.

ANNEXE 6.

Bureau International des Poids et Mesures.

RAPPORT
SUR LES COMPARAISONS
DES ÉTALONS NATIONAUX
DE FORCE ÉLECTROMOTRICE
EFFECTUÉES EN 1953

Par M. GAUTIER.

Conformément au vœu du Comité Consultatif d'Electricité, le Comité International avait décidé, dans sa session de 1952, de procéder aux comparaisons des étalons électriques nationaux pendant l'été 1953. Ceci n'était possible qu'en dotant notre laboratoire d'un appareil de climatisation, la température et le degré d'humidité étant normalement trop élevés pendant l'été. Notre installation pour la mesure des forces électromotrices ayant été peu perturbée par les aménagements nécessaires de la salle 13, nous avons pu rapidement la remettre en état de marche et les comparaisons des étalons nationaux de force électromotrice ont été effectuées entre le 20 et le 24 juillet 1953.

Les groupes d'étalons suivants étaient présents au Bureau International depuis le début de juin :

Groupe R_v (5 piles), Physikalisch-Technische Bundesanstalt,
Allemagne-Ouest;

» Ca_v (4 »), National Research Council, Canada;

- Groupe S_v (6 piles), National Bureau of Standards, États-Unis;
» C_v (4 »), Laboratoire Central des Industries Élec-
triques, France;
» N_v (6 »), National Physical Laboratory, Grande-
Bretagne;
» E_v (5 »), Electrotechnical Laboratory, Japon;
» M_v (7 »), Institut de Métrologie de l'U. R. S. S.;
» I_a (6 »), Bureau International des Poids et
Mesures.

Ces groupes ont été comparés entre eux comme suit :

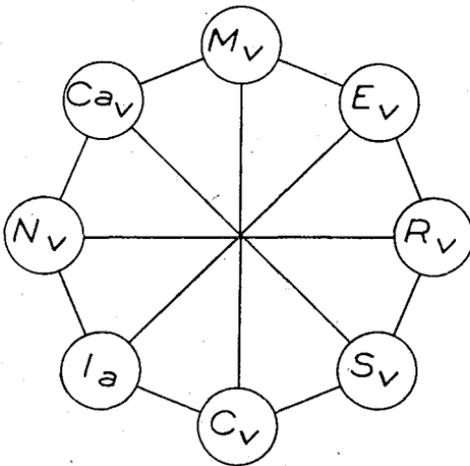


Fig. 1.

Les douze séries « aller » et les douze séries « retour » ont été effectuées symétriquement par rapport à la date du 22 juillet 1953, par un seul observateur (M. Gautier), suivant nos méthodes de mesure habituelles (1).

(1) M. ROMANOWSKI, *Coordination des unités électriques au B. I. P. M.* (Travaux et Mémoires du Bureau International, t. XXI, 1952, p. 43 à 65).

Les résultats observés sont les suivants :

Série.	Aller.		Retour.		Moyenne.	
	Température (°C).	Résultats (μV).	Température (°C).	Résultats (μV).	Température (°C).	Résultats (μV).
1. M _v -Ca _v	20,486	+57,27	19,495	+60,81	19,990	+59,04
2. I _a -N _v	20,478	-29,56	19,530	-30,72	20,004	-30,14
3. S _v -C _v	20,400	-7,01	19,563	-6,63	19,982	-6,82
4. E _v -R _v	20,380	-26,80	19,547	-27,47	19,964	-27,14
5. N _v -Ca _v	20,045	+51,70	20,117	+49,74	20,081	+50,72
6. I _a -C _v	20,042	-14,78	20,127	-14,70	20,084	-14,74
7. S _v -R _v	19,965	-67,24	20,125	-66,76	20,045	-67,00
8. M _v -E _v	19,970	-8,31	20,129	-8,31	20,050	-8,31
9. S _v -Ca _v	19,991	+27,66	20,119	+26,26	20,055	+26,96
10. N _v -R _v	20,041	-44,42	20,104	-44,47	20,072	-44,44
11. I _a -E _v	20,049	-47,78	20,094	-47,48	20,072	-47,63
12. M _v -C _v	20,065	+24,98	20,086	+24,39	20,075	+24,69

A partir de ces résultats on a calculé, par la méthode des moindres carrés, la valeur de chacun des huit groupes, rapportée à leur valeur moyenne

$$A_8 = \frac{1}{8} [R_v + Ca_v + S_v + C_v + N_v + E_v + M_v + I_a].$$

$$R_v = A_8 + 50,43 \mu V$$

$$Ca_v = -44,12$$

$$S_v = -16,76$$

$$C_v = -9,73$$

$$N_v = +6,16$$

$$E_v = +23,31$$

$$M_v = +14,96$$

$$I_a = -24,26$$

RATTACHEMENT DE L'UNITÉ DU D. A. M. G. — Le groupe D_v (5 piles) du Deutsches Amt für Mass und Gewicht, Allemagne-Est, ne nous est parvenu qu'en septembre 1953, alors que les premières comparaisons étaient terminées. Cependant, les huit groupes étudiés en juillet étant toujours présents au Bureau International, le groupe D_v a pu être comparé à chacun d'eux, entre le 18 et le 28 septembre.

On a ainsi obtenu les résultats suivants :

$$\begin{aligned}
 D_v &= R_v + 25,16 \mu V \\
 &= Ca_v + 117,45 \\
 &= S_v + 92,36 \\
 &= C_v + 85,08 \\
 &= N_v + 69,28 \\
 &= E_v + 51,79 \\
 &= M_v + 60,62 \\
 &= I_a + 100,16
 \end{aligned}$$

Soit en moyenne

$$D_v = A'_8 + 75,24 \mu V,$$

A'_8 désignant la valeur, en septembre 1953, de la moyenne des huit groupes dont la valeur était A_8 en juillet, la différence entre A'_8 et A_8 étant due à l'évolution des piles entre juillet et septembre. L'examen des résultats montre que le groupe Ca_v a augmenté d'environ $2 \mu V$ pendant cet intervalle de deux mois, alors que les autres groupes se sont bien maintenus les uns par rapport aux autres. Nous avons donc calculé la différence $A'_8 - A_8$ en considérant comme constante entre les mois de juillet et de septembre la moyenne des sept groupes R_v , S_v , C_v , N_v , E_v , M_v et I_a .

On en déduit

$$A'_8 = A_8 + 0,27 \mu V,$$

d'où

$$D_v = A_8 + 75,51 \mu V.$$

VALEUR DE A_8 EN FONCTION DE L'UNITÉ CONSERVÉE AU BUREAU INTERNATIONAL. — Les études des étalons qui définissent l'unité du Bureau International ont conduit à attribuer au groupe I_a les valeurs

$$1,018\,581\,5 \text{ V}_{\text{BIPM}} \text{ en mai 1952}$$

et

$$1,018\,580\,6 \text{ V}_{\text{BIPM}} \text{ en mars 1954.}$$

Nous avons donc admis qu'à la date du 22 juillet 1953 ce groupe avait la valeur

$$I_a = 1,018\,581\,0 \text{ V}_{\text{BIPM}}$$

obtenue par interpolation. D'où pour A_8 à cette même date, la valeur

$$A_8 = 1,018\,605\,3 \text{ V}_{\text{BIPM}}.$$

VALEURS DES DIFFÉRENTS GROUPES, EXPRIMÉES EN FONCTION DE V_{BIPM} A LA DATE DU 22 JUILLET 1953. — En remplaçant A_s par sa valeur, on obtient

$$\begin{aligned} R_v &= 1,018\ 655\ 7\ V_{BIPM} \\ Ca_v &= 1,018\ 561\ 2 \\ S_v &= 1,018\ 588\ 5 \\ C_v &= 1,018\ 595\ 6 \\ N_v &= 1,018\ 611\ 5 \\ E_v &= 1,018\ 628\ 6 \\ M_v &= 1,018\ 620\ 3 \\ I_a &= 1,018\ 581\ 0 \\ (D_v &= 1,018\ 680\ 8\ V_{BIPM}, \text{ le 23 septembre}) \end{aligned}$$

VALEURS DES GROUPES VOYAGEURS NATIONAUX, EXPRIMÉES EN UNITÉ DU LABORATOIRE D'ORIGINE. — Étant donné que les écarts constatés entre les valeurs communiquées par les Laboratoires nationaux avant et après la venue de leurs groupes au Bureau International résultent davantage de variations accidentelles dues aux voyages que d'une évolution régulière des piles avec le temps, une interpolation n'est pas justifiable et nous avons seulement pris la moyenne arithmétique des deux valeurs données par les certificats.

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

	Août 1953.	Décembre 1953.	Valeur admise.
51/185.....	1,018 682	1,018 684	1,018 683 V_{AE}
51/186.....	689	692	690
51/194.....	682	681	682
51/198.....	680	683	682
51/200.....	681	681	681
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	1,018 682 8	1,018 684 2	1,018 683 6 V_{AE}

P. T. B. (Groupe R_v).

	Mai 1953.	Novembre 1953.	Valeur admise.
51 217.....	1,018 656 0	1,018 655 6	1,018 655 8 V_{AO}
51 218.....	658 8	659 2	659 0
51 219.....	656 2	656 4	656 3
51 220.....	659 5	659 0	659 2
51 221.....	659 7	659 1	659 4
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	1,018 658 0	1,018 657 9	1,018 658 0 V_{AO}

N. R. C. (Groupe Ca_v).

	Avril 1953.	Mai 1954.	Valeur admise.
122 703.....	1,018 546	1,018 546	1,018 546 V _{Ca}
122 739.....	543	542	542
428 462.....	585	585	585
428 463.....	584	584	584
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	1,018 564 5	1,018 564 2	1,018 564 3 V _{Ca}

N. B. S. (Groupe S_v).

	Mars 1952.	Novembre 1953.	Valeur admise.
1 035.....	1,018 595 5	1,018 597 3	1,018 596 4 V _{EU}
1 036.....	595 8	597 6	596 7
1 063.....	594 7	597 4	596 0
1 077.....	589 8	590 7	590 2
1 078.....	584 3	589 5	586 9
1 079.....	583 0	585 8	584 4
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	1,018 590 5	1,018 593 0	1,018 591 8 V _{EU}

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

	Juin 1953.	Décembre 1953.	Valeur admise.
2 907.....	1,018 597 5	1,018 596 8	1,018 597 2 V _F
2 908.....	598 1	598 5	598 3
2 909.....	596 5	597 4	597 0
2 910.....	596 9	597 4	597 1
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	1,018 597 2	1,018 597 5	1,018 597 4 V _F

N. P. L. (Groupe N_v).

	Avril-mai 1953.	Février-mars 1954.	Valeur admise.
§ 124.....	1,018 610 5	1,018 610 5	1,018 610 5 V _{GB}
§ 125.....	608 9	607 0	608 0
§ 126.....	611 4	612 6	612 0
§ 127.....	609 6	606 5	608 0
§ 128.....	607 6	607 2	607 4
§ 129.....	606 4	601 2	603 8
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	1,018 609 1	1,018 607 5	1,018 608 3 V _{GB}

E. T. L. (Groupe E_v).

	Mai 1953.	Mars 1954.	Valeur admise.
456.....	1,018 659 8	1,018 656 1	1,018 658 0 V _J
579.....	655 0	652 6	653 8
A 71.....	612 3	610 7	611 5
A 78.....	614 5	612 9	613 7
A 82.....	614 4	611 4	612 9
	<hr/> 1,018 631 2	<hr/> 1,018 628 7	<hr/> 1,018 630 0 V _J

I. M. (Groupe M_v).

	Mai 1953.	Octobre 1953.	Valeur admise.
2 706.....	1,018 592 3	1,018 592 7	1,018 592 5 V _U
2 746.....	593 5	592 2	592 8
2 747.....	604 1	604 8	604 4
5 641.....	598 7	599 0	598 8
5 648.....	598 3	598 9	598 6
5 649.....	599 3	600 1	599 7
5 637.....	599 4	599 8	599 6
	<hr/> 1,018 597 9	<hr/> 1,018 598 2	<hr/> 1,018 598 0 V _U

B. I. P. M. (Groupe I_a).

	Mai 1952.	Mars 1954.	Valeur admise.
2 983.....	1,018 581 6	1,018 579 9	1,018 580 8 V _{BIPM}
2 986.....	583 0	582 5	582 8
2 987.....	582 6	581 0	581 8
2 988.....	581 1	579 5	580 3
2 989.....	580 7	580 3	580 5
2 990.....	579 9	580 3	580 1
	<hr/> 1,018 581 5	<hr/> 1,018 580 6	<hr/> 1,018 581 0 V _{BIPM}

VALEUR DE L'UNITÉ DE CHAQUE LABORATOIRE
EN FONCTION DE L'UNITÉ CONSERVÉE PAR LE BUREAU INTERNATIONAL.

D. A. M. G.

$$D_v = 1,018 683 6 V_{AE} = 1,018 680 8 V_{BIPM},$$

$$V_{AE} = V_{BIPM} - 2,8 \mu V.$$

P. T. B.

$$R_v = 1,018 658 0 V_{AO} = 1,018 655 7 V_{BIPM},$$

$$V_{AO} = V_{BIPM} - 2,3 \mu V.$$

N. R. C.

$$Ca_{\nu} = 1,018\ 564\ 3 \quad V_{Ca} = 1,018\ 561\ 2 \quad V_{BIPM},$$

$$V_{Ca} = V_{BIPM} - 3,1 \mu V.$$

N. B. S.

$$S_{\nu} = 1,018\ 591\ 8 \quad V_{EU} = 1,018\ 588\ 5 \quad V_{BIPM},$$

$$V_{EU} = V_{BIPM} - 3,3 \mu V.$$

L. C. I. E.

$$C_{\nu} = 1,018\ 597\ 4 \quad V_F = 1,018\ 595\ 6 \quad V_{BIPM},$$

$$V_F = V_{BIPM} - 1,8 \mu V.$$

N. P. L.

$$N_{\nu} = 1,018\ 608\ 3 \quad V_{GB} = 1,018\ 611\ 5 \quad V_{BIPM},$$

$$V_{GB} = V_{BIPM} + 3,2 \mu V.$$

E. T. L.

$$E_{\nu} = 1,018\ 630\ 0 \quad V_J = 1,018\ 628\ 6 \quad V_{BIPM},$$

$$V_J = V_{BIPM} - 1,4 \mu V.$$

I. M.

$$M_{\nu} = 1,018\ 598\ 0 \quad V_U = 1,018\ 620\ 3 \quad V_{BIPM},$$

$$V_U = V_{BIPM} + 22,3 \mu V.$$

RÉSULTATS DES COMPARAISONS INTERNATIONALES DE 1953. — Nous avons rassemblé ci-dessous les valeurs des unités des différents Laboratoires, en fonction de l'unité conservée au Bureau International.

Allemagne.....	{	$V_{AK} = V_{BIPM} - 2,8 \mu V$
	{	$V_{AO} = \quad \quad \quad - 2,3$
Canada.....		$V_{Ca} = \quad \quad \quad - 3,1$
États-Unis d'Amérique.....		$V_{EU} = \quad \quad \quad - 3,3$
France.....		$V_F = \quad \quad \quad - 1,8$
Grande-Bretagne.....		$V_{GB} = \quad \quad \quad + 3,2$
Japon.....		$V_J = \quad \quad \quad - 1,4$
U. R. S. S.....		$V_U = \quad \quad \quad + 22,3$

Les résultats des comparaisons de 1950 avaient été exprimés en fonction de V_{BIPM} et également en fonction de la moyenne V_m des unités des six Laboratoires ayant participé à ces comparaisons. Cependant, ainsi qu'il était signalé dans les conclusions

de notre précédent Rapport (²), la comparaison de cette unité moyenne V_m avec celle conservée avant 1939 était assez illusoire. En effet, certains Laboratoires avaient subi depuis cette époque des vicissitudes du fait des événements, et, de plus, les unités « internationales » avaient été abandonnées au profit des unités « absolues ». Il nous a semblé, maintenant que trois nouveaux Laboratoires sont venus s'ajouter aux six précédents, qu'il était encore plus difficile d'établir une liaison entre les résultats actuels et ceux des comparaisons antérieures. C'est pourquoi nous nous sommes contentés de publier le tableau ci-dessus qui permet de connaître les écarts entre les diverses unités nationales, et de passer ainsi facilement de l'une à l'autre.

Le comportement des piles étalons pendant leur séjour au Bureau International a été très satisfaisant. Notons que pour ces comparaisons, les transports ont été effectués sans dommages et que nous n'avons constaté aucune instabilité particulière des étalons.

(Octobre 1954.)

(²) G. LECLERC et M. GAUTHIER, *Rapport sur les comparaisons des étalons nationaux de force électromotrice effectuées en février et avril 1950* (*Procès-Verbaux du C. I. P. M.*, 2^e série, t. XXIII-B, 1952, Annexe E 9, p. E 74).

ANNEXE 7.

Bureau International des Poids et Mesures.

RAPPORT
SUR LES COMPARAISONS
DES ÉTALONS NATIONAUX
DE RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE
EFFECTUÉES EN 1953

Par M. GAUTIER.

Les comparaisons des étalons nationaux de résistance électrique devaient avoir lieu comme celles des étalons de force électromotrice pendant l'été 1953, suivant la décision du Comité International de 1952; elles ont été retardées jusqu'au mois d'octobre par suite des aménagements à apporter à nos installations. Le pont double servant à la mesure des résistances a dû être transporté de la salle 16, où il se trouvait jusqu'ici, dans la salle 15, mieux isolée thermiquement et dotée d'un appareil de climatisation. Ceci nous a amenés à refaire les branchements électriques et à revoir l'installation galvanométrique (une nouvelle ligne isolée au polyéthylène relie maintenant le pont à son galvanomètre).

Par ailleurs, un violent orage, survenu dans la soirée du 30 juin 1953, a provoqué d'importantes infiltrations d'eau dans la salle 15, et l'installation de mesure des résistances a été inondée. Seules les résistances du Bureau International ont été touchées, les résistances envoyées par les Laboratoires pour participer aux comparaisons se trouvant à l'abri dans une autre partie

de la salle. Signalons tout de suite que les mesures de 1954 ont montré que les résistances du Bureau International n'avaient nullement souffert de cet accident. A la suite de cette inondation, il nous a fallu démonter complètement le pont double afin de le remettre en état, ce qui a encore retardé la date des comparaisons internationales.

Celles-ci ont eu lieu du 19 octobre au 4 novembre. Les étalons envoyés au Bureau International étaient les suivants :

N ^{os} des étalons.	Laboratoires.	Symboles des Labora- toires (1).
1M₁, 1M₁₃, 1M₁₄	Deutsches Amt für Mass und Gewicht, Allemagne-Est	D
88, 10576	Physikalisch-Technische Bun- desanstalt, Allemagne- Ouest	R
498850, 498851, 4029331, 1029332	National Research Council, Canada	Ca
72, 73, 83	National Bureau of Standards, États-Unis	S
638719, 3961, 3962	Laboratoire Central des Indus- tries Électriques, France	C
713, 714	National Physical Laboratory, Grande-Bretagne	N
34030, 34051, 34054 ...	Electrotechnical Laboratory, Japon	E
6, 8	Institut de Métrologie de l'U. R. S. S.	M
N (717), S (85)	Bureau International des Poids et Mesures	I

Afin d'abrégier la durée des mesures et de donner le même poids à tous les Laboratoires, on a inclus dans les comparaisons

(1) Ainsi, l'étalon n° 73 du N. B. S. sera désigné par S (73), l'étalon n° 6 de l'Institut de Métrologie par M (6), etc.

deux étalons seulement par Laboratoire (étalons dont le numéro est en caractères gras).

Le schéma de comparaisons adopté est reproduit ci-après :

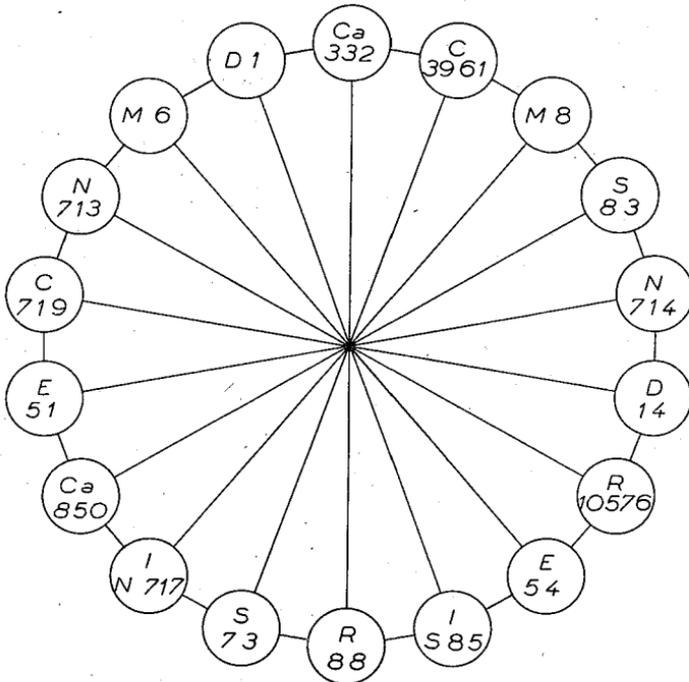


Fig. 1.

Il a été effectué 27 séries « aller » et 27 séries « retour » symétriquement par rapport à la date du 26 octobre 1953, par un seul observateur (M. Gautier). Les méthodes et les appareils employés sont décrits dans le tome XXI des *Travaux et Mémoires du Bureau International* ⁽²⁾.

⁽²⁾ M. ROMANOWSKI, *Coordination des unités électriques au B. I. P. M.* (p. 23-34); M. GAUTIER, *Théorie de l'équilibrage du pont double.*

Les résultats observés, réduits à 20°C, sont les suivants :

Comparaisons.	Température (°C).		Résultats à 20°C ($\mu\Omega$).		
	Aller.	Retour.	Aller.	Retour.	Moyenne.
1. Ca(332)-D(1).....	20,09	19,94	-605,54	-612,21	-608,88
2. M(6)-N(713).....	20,12	19,92	+387,64	+387,42	+387,53
3. C(719)-E(51).....	20,12	20,02	-441,32	-441,45	-441,38
4. Ca(850)-I(N 717)....	20,12	19,99	-583,33	-583,54	-583,44
5. S(73)-R(88).....	20,12	19,96	+ 20,70	+ 20,45	+ 20,58
6. I(S83)-E(54).....	20,64	19,91	-574,36	-575,05	-574,70
7. R(10576)-D(14).....	20,63	19,87	-241,64	-242,17	-241,90
8. N(714)-S(83).....	20,48	19,98	+ 41,25	+ 41,41	+ 41,33
9. M(8)-C(3961).....	20,46	19,94	-143,22	-141,98	-142,60
10. D(1)-M(6).....	20,47	19,93	+158,39	+153,81	+156,10
11. N(713)-C(719).....	20,02	19,91	+141,14	+141,16	+141,15
12. E(51)-Ca(850).....	20,03	19,91	+423,38	+423,39	+423,38
13. I(N 717)-S(73).....	20,08	20,01	+493,73	+493,50	+493,62
14. R(88)-I(S83).....	20,10	19,98	- 24,31	- 23,61	- 23,96
15. E(54)-R(10576)....	20,13	19,96	+ 61,38	+ 62,66	+ 62,02
16. D(14)-N(714).....	19,99	19,92	+724,59	+723,48	+724,04
17. S(83)-M(8).....	20,03	19,89	-440,48	-440,44	-440,46
18. C(3961)-Ca(332)....	20,02	20,07	+611,78	+612,01	+611,90
19. D(1)-I(S83).....	20,04	20,05	+572,84	+572,57	+572,70
20. M(6)-E(54).....	20,05	20,04	-157,71	-157,61	-157,66
21. N(713)-R(10576)...	20,32	19,95	-483,24	-482,69	-482,97
22. C(719)-D(14).....	20,32	19,90	-866,91	-868,02	-867,46
23. E(51)-N(714).....	19,92	19,96	+299,19	+299,54	+299,36
24. Ca(850)-S(83).....	19,96	19,95	- 82,62	- 82,56	- 82,59
25. I(N 717)-M(8).....	19,96	19,93	+ 60,26	+ 60,52	+ 60,39
26. S(73)-C(3961).....	19,96	19,92	-576,13	-576,22	-576,18
27. R(88)-Ca(332).....	19,98	19,88	+ 14,90	+ 15,03	+ 14,96

A partir de ces résultats on a calculé, par la méthode des moindres carrés, la valeur à 20°C de chacun des 18 étalons, rapportée

à leur valeur moyenne $B_{18} = \frac{1}{18} [D(1) + D(14) + \dots + I(S\ 83)] :$

D(1)	=	$B_{18} + 325,61 \mu\Omega$
D(14)	=	+ 508,58
R(88)	=	- 269,94
R(10376)	=	+ 266,17
Ca(498830)	=	- 339,43
Ca(1029332)	=	- 284,36
S(73)	=	- 249,31
S(83)	=	- 256,72
C(638719)	=	- 358,31
C(3961)	=	+ 327,01
N(713)	=	- 217,14
N(714)	=	- 215,53
E(34031)	=	+ 83,62
E(34034)	=	+ 328,02
M(6)	=	+ 170,09
M(8)	=	+ 184,00
I(N717)	=	+ 244,24
I(S 83)	=	- 246,59

VALEUR DE B_{18} EN FONCTION DE L'UNITÉ CONSERVÉE AU B. I. P. M. —
Les études des étalons qui définissent l'unité du Bureau International ont conduit à attribuer aux résistances N(717) et S(83) les valeurs ci-après :

N(717)	=	1,000 504 5 Ω_{BIPM}	le 23 avril 1952,
	=	1,000 505 1	le 16 mai 1954;
S(83)	=	1,000 014 9 Ω_{BIPM}	le 23 avril 1952,
	=	1,000 014 7	le 16 mai 1954.

Nous avons donc admis qu'à la date du 26 octobre 1953 ces étalons avaient les valeurs

$$\begin{aligned} N(717) &= 1,000\ 504\ 9\ \Omega_{BIPM} \\ S(83) &= 1,000\ 014\ 8 \end{aligned}$$

obtenues par interpolation.

D'où pour B_{18} :

$$\begin{aligned} 1,000\ 260\ 7\ \Omega_{BIPM} &\text{ d'après } N(717), \\ 1,000\ 261\ 4 &\text{ » } S(83), \end{aligned}$$

soit en moyenne

$$B_{18} = 1,000\ 261\ 0\ \Omega_{\text{BIPM}}$$

VALEURS DES DIFFÉRENTS ÉTALONS, EXPRIMÉES EN FONCTION DE Ω_{BIPM} A LA DATE DU 26 OCTOBRE 1953. — En remplaçant B_{18} par sa valeur, on obtient

D(1)	= 1,000 586 6 Ω_{BIPM}
D(14)	= 1,000 769 6
R(88)	= 0,999 991 1
R(10376)	= 1,000 527 2
Ca(498830)	= 0,999 921 6
Ca(1029332)	= 0,999 976 6
S(73)	= 1,000 011 7
S(83)	= 1,000 004 3
C(638719)	= 0,999 902 7
C(3961)	= 1,000 588 0
N(713)	= 1,000 043 9
N(714)	= 1,000 045 5
E(34031)	= 1,000 344 6
E(34034)	= 1,000 589 0
M(6)	= 1,000 431 1
M(8)	= 1,000 445 0
I(N 717)	= 1,000 505 2
I(S 85)	= 1,000 014 4

VALEURS DES ÉTALONS VOYAGEURS NATIONAUX, EXPRIMÉES EN UNITÉ DU LABORATOIRE D'ORIGINE A LA DATE DU 26 OCTOBRE 1953. — A partir des valeurs attribuées par chaque Laboratoire à ses étalons avant et après leur venue à Sèvres, nous avons calculé leurs valeurs au 26 octobre 1953 par interpolation, en supposant les dérives proportionnelles au temps écoulé.

D. A. M. G.

		Valeurs au 26 octobre 1953.
D(1).....	{ 28 août 1953..... 1,000 558 Ω_{AE} 6 décembre 1953.... 1,000 555	1,000 556 Ω_{AE}
D(14).....	{ 28 août 1953..... 1,000 748 6 décembre 1953.... 1,000 748	1,000 748

P. T. B.

		Valeurs au 26 octobre 1953.	
R(88).....	{	mai 1953..... 0,999 988 1 Ω_{AO}	} 0,999 989 4 Ω_{AO}
	{	février 1954..... 0,999 990 0	
R(10576).....	{	mai 1953..... 1,000 516 4	} 1,000 516 5
	{	février 1954..... 1,000 516 5	

N. R. C.

Ca(498850).....	{	avril 1953..... 0,999 926 0 Ω_{Ca}	} 0,999 926 2 Ω_{Ca}
	{	décembre 1953..... 0,999 926 2	
Ca(1029332).....	{	avril 1953..... 0,999 979 5	} 0,999 980 5
	{	décembre 1953..... 0,999 980 6	

N. B. S.

S(73).....	{	avril 1953..... 1,000 011 3 Ω_{EU}	} 1,000 012 6 Ω_{EU}
	{	janvier 1954..... 1,000 013 0	
S(83).....	{	avril 1953..... 1,000 004 4	} 1,000 004 5
	{	janvier 1954..... 1,000 004 5	

L. C. I. E.

C(638719).....	{	9 juin 1953..... 0,999 908 4 Ω_F	} 0,999 908 0 Ω_F
	{	24 janvier 1954..... 0,999 907 7	
C(3961).....	{	9 juin 1953..... 1,000 591 6	} 1,000 592 8
	{	24 janvier 1954..... 1,000 593 5	

N. P. L.

N(713).....	{	avril 1953..... 1,000 048 2 Ω_{GB}	} 1,000 048 5 Ω_{GB}
	{	mai 1954..... 1,000 048 7	
N(714).....	{	avril 1953..... 1,000 048 9	} 1,000 049 1
	{	mai 1954..... 1,000 049 2	

E. T. L.

E(34031).....	{	20 mai 1953..... 1,000 345 6 Ω_J	} 1,000 345 7 Ω_J
	{	22 février 1954..... 1,000 345 7	
E(34054).....	{	20 mai 1953..... 1,000 589 6	} 1,000 590 0
	{	22 février 1954..... 1,000 590 2	

I. M.

M(6).....	{	avril 1953..... 1,000 432 4 Ω_U	} 1,000 431 0 Ω_U
	{	mars 1954..... 1,000 430 2	
M(8).....	{	avril 1953..... 1,000 444 8	} 1,000 443 5
	{	mars 1954..... 1,000 442 8	

VALEUR DE L'UNITÉ DE CHAQUE LABORATOIRE EN FONCTION DE L'UNITÉ CONSERVÉE PAR LE BUREAU INTERNATIONAL.

D. A. M. G.

D(1).....	1,000 556 Ω_{AE}	= 1,000 587 Ω_{BIPM}	$\Omega_{AE} = \Omega_{BIPM} + 31 \mu\Omega$
D(14).....	1,000 748	= 1,000 770	= + 22
	<u>1,000 652 Ω_{AE}</u>	<u>= 1,000 678 Ω_{BIPM}</u>	<u>$\Omega_{AE} = \Omega_{BIPM} + 26 \mu\Omega$</u>

P. T. B.

R(88).....	0,999 989 4 Ω_{AO}	= 0,999 991 1 Ω_{BIPM}	$\Omega_{AO} = \Omega_{BIPM} + 1,7 \mu\Omega$
R(10376)....	1,000 516 5	= 1,000 527 2	= + 10,7
	<u>1,000 253 0 Ω_{AO}</u>	<u>= 1,000 259 2 Ω_{BIPM}</u>	<u>$\Omega_{AO} = \Omega_{BIPM} + 6,2 \mu\Omega$</u>

N. R. C.

Ca (498850)...	0,999 926 2 Ω_{Ca}	= 0,999 921 6 Ω_{BIPM}	$\Omega_{Ca} = \Omega_{BIPM} - 4,6 \mu\Omega$
Ca(1029332)...	0,999 980 5	= 0,999 976 6	= - 3,9
	<u>0,999 953 4 Ω_{Ca}</u>	<u>= 0,999 949 1 Ω_{BIPM}</u>	<u>$\Omega_{Ca} = \Omega_{BIPM} - 4,3 \mu\Omega$</u>

N. B. S.

S(73).....	1,000 012 6 Ω_{EU}	= 1,000 011 7 Ω_{BIPM}	$\Omega_{EU} = \Omega_{BIPM} - 0,9 \mu\Omega^{(3)}$
S(83).....	1,000 004 5	= 1,000 004 3	= - 0,2

L. C. I. E.

C(638719)....	0,999 908 0 Ω_F	= 0,999 902 7 Ω_{BIPM}	$\Omega_F = \Omega_{BIPM} - 5,3 \mu\Omega$
C(3961).....	1,000 592 8	= 1,000 588 0	= - 4,8
	<u>1,000 250 4 Ω_F</u>	<u>= 1,000 245 4 Ω_{BIPM}</u>	<u>$\Omega_F = \Omega_{BIPM} - 5,0 \mu\Omega$</u>

N. P. L.

N(713).....	1,000 048 5 Ω_{GB}	= 1,000 043 9 Ω_{BIPM}	$\Omega_{GB} = \Omega_{BIPM} - 4,6 \mu\Omega$
N(714).....	1,000 049 1	= 1,000 045 5	= - 3,6
	<u>1,000 048 8 Ω_{GB}</u>	<u>= 1,000 044 7 Ω_{BIPM}</u>	<u>$\Omega_{GB} = \Omega_{BIPM} - 4,1 \mu\Omega$</u>

E. T. L.

E(34051)....	1,000 345 7 Ω_J	= 1,000 344 6 Ω_{BIPM}	$\Omega_J = \Omega_{BIPM} - 1,1 \mu\Omega$
E(34054)....	1,000 590 0	= 1,000 589 0	= - 1,0
	<u>1,000 467 8 Ω_J</u>	<u>= 1,000 466 8 Ω_{BIPM}</u>	<u>$\Omega_J = \Omega_{BIPM} - 1,0 \mu\Omega$</u>

I. M.

M(6).....	1,000 431 0 Ω_U	= 1,000 431 1 Ω_{BIPM}	$\Omega_U = \Omega_{BIPM} + 0,1 \mu\Omega$
M(8).....	1,000 443 5	= 1,000 445 0	= + 1,5
	<u>1,000 437 2 Ω_U</u>	<u>= 1,000 438 0 Ω_{BIPM}</u>	<u>$\Omega_U = \Omega_{BIPM} + 0,8 \mu\Omega$</u>

(³) Le N. B. S. ayant estimé que la variation de la résistance n° 73 durant son voyage à Sèvres était excessive, a demandé qu'il ne soit tenu compte que de l'étalon n° 83 pour déterminer la valeur de Ω_{EU} .

RÉSULTATS DES COMPARAISONS INTERNATIONALES DE 1953. — D'après l'examen des erreurs de compensation, il semble que les valeurs des étalons rapportées à la moyenne B_{18} soient connues avec une précision de quelques dixièmes de microhm. Cependant, les mesures faites sur les deux étalons d'un même Laboratoire conduisent à attribuer à l'unité de ce Laboratoire des valeurs qui diffèrent entre elles de près de $1 \mu\Omega$ en général. Ces différences peuvent provenir du fait que les étalons, pendant qu'ils sont hors de leur Laboratoire, n'évoluent pas linéairement avec le temps; elles n'entraînent cependant pas une incertitude prohibitive sur la valeur des unités nationales.

Il n'en est pas de même des deux Laboratoires allemands, pour lesquels les valeurs obtenues à l'aide des deux étalons diffèrent de près de $10 \mu\Omega$. Après examen de la question, ces deux Laboratoires ont estimé que ces différences devaient provenir de fluctuations des étalons D(1) et R(10376) sous l'influence de variations d'humidité. Ils ont demandé, en conséquence, que le calcul de la valeur de leur unité repose uniquement sur les étalons D(14) et R(88) respectivement.

Nous avons rassemblé ci-dessous les valeurs de l'unité des différents Laboratoires, en fonction de l'unité conservée au Bureau International :

Allemagne.....	}	$\Omega_{AE} = \Omega_{BIPM} + 22 \mu\Omega$
		$\Omega_{AO} = \text{ » } + 1,7$
Canada.....		$\Omega_{Ca} = \text{ » } - 4,3$
États-Unis d'Amérique.....		$\Omega_{EU} = \text{ » } - 0,2$
France.....		$\Omega_F = \text{ » } - 5,0$
Grande-Bretagne.....		$\Omega_{GB} = \text{ » } - 4,1$
Japon.....		$\Omega_J = \text{ » } - 1,0$
U. R. S. S.....		$\Omega_U = \text{ » } + 0,8$

Comme pour les comparaisons des étalons de force électromotrice, et pour les mêmes raisons, nous n'avons publié que les écarts des unités nationales par rapport à l'unité conservée au Bureau International.

(Octobre 1954.)

ANNEXE 8.

Bureau International des Poids et Mesures.

NOTE
SUR LE GROUPE D'ÉTALONS
SERVANT A CONSERVER L'UNITE
DE RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE
AU BUREAU INTERNATIONAL

Par M. GAUTIER.

Lorsqu'en 1939 le Bureau International s'est trouvé isolé de l'extérieur, il a constitué un groupe de référence destiné à conserver l'ohm international moyen Ω_M défini par les comparaisons internationales de 1939, jusqu'à ce que de nouvelles comparaisons puissent avoir lieu. Ce groupe, désigné depuis par le symbole GO'_3 , était formé des quatre meilleurs étalons de résistance en dépôt au Bureau à cette époque, à savoir :

E(52), LN(63), N(717) et S(83).

La valeur de la moyenne de ces étalons était en 1939 (¹)

$$GO'_3 = 0,999\,775\,1\,\Omega_M$$

et l'on a admis qu'elle restait constante.

(¹) Voir à ce sujet : M. ROMANOWSKI, *Coordination des unités électriques au B.I.P.M.* (Travaux et Mémoires du Bureau International, t. XXI, 1952).

Le passage aux unités absolues, le 1^{er} janvier 1948, a été fait, au Bureau International, en se basant sur la relation

$$1 \Omega_M = 1,000\ 49 \Omega_{\text{abs.}}$$

fixée par le Comité International des Poids et Mesures en 1946 (2). Il en est résulté

$$GO'_3 = 1,000\ 265\ 0 \Omega_{\text{abs.}}$$

L'unité du Bureau International, désignée par Ω_{BIPM} , est donc actuellement déterminée en admettant que la moyenne des valeurs des quatre étalons du groupe GO'_3 garde la valeur constante

$$GO'_3 = 1,000\ 265\ 0 \Omega_{\text{BIPM.}}$$

Cependant, depuis quelques années, des faits nouveaux sont apparus. Dès 1947 de nouvelles résistances ont été déposées au Bureau International, et les quatre étalons choisis en 1939 ne sont plus les seuls à avoir les qualités que l'on doit exiger d'un étalon de référence. Par ailleurs, dans sa session de 1952, le Comité Consultatif d'Électricité a proposé que l'unité Ω_{BIPM} conservée au Bureau International joue le même rôle que celles définies dans les autres Laboratoires (3). Le groupe de référence du Bureau a donc perdu par là même le caractère provisoire qu'il avait lors de sa création. Il nous a alors paru intéressant de renforcer notre groupe de référence en le composant d'un plus grand nombre d'étalons.

Ceci nous a amenés à considérer l'évolution relative des bobines déposées au Bureau International, au cours des mesures effectuées de 1947 à 1954. Les résultats de ces mesures sont donnés dans le tableau I pour les douze étalons régulièrement suivis depuis 1947. A partir de ces données, nous avons calculé, par la méthode des moindres carrés, les coefficients d'une loi de variation linéaire de la résistance de chaque bobine avec le temps. Dans le tableau II nous avons indiqué, pour chaque étalon, la variation annuelle de la résistance et la moyenne quadratique des écarts à la loi linéaire calculée (écart-type).

(2) *Procès-Verbaux du C.I.P.M.*, t. XX, 1945-1946, p. 129.

(3) *Procès-Verbaux du C.I.P.M.*, t. XXIII-B, 1952, p. E 18.

TABLEAU I.

Évolution des étalons déposés au B. I. P. M. (Unité : Ω_{BIPM}).

	E (52).	LN (65).	N (717).	S (85).
1947.....	1,000 075 2	1,000 466 9	1,000 503 1	1,000 014 8
1948.....	075 0	466 8	503 7	014 5
1949.....	074 6	466 8	503 8	014 8
1950.....	074 7	466 5	504 0	014 8
1951.....	074 5	466 4	504 1	014 9
1952.....	074 4	466 2	504 5	014 9
1954.....	074 4	465 9	505 1	014 7
	N (722).	N (725).	S (86).	S (87).
1947.....	1,000 031 5	1,000 001 2	1,000 015 0	1,000 005 7
1948.....	031 4	001 4	014 8	005 5
1949.....	031 1	001 2	014 7	005 6
1950.....	031 2	000 0	014 4	005 5
1951.....	031 2	000 1	014 3	005 6
1952.....	031 2	000 1	014 3	005 9
1954.....	031 1	0,999 999 3	013 8	005 3
	R (3751).	N (645).	M (9).	M (12).
1947.....	—	1,000 497 3	—	—
1948.....	1,000 538 2	497 3	1,000 423 4	1,000 470 4
1949.....	538 8	496 8	422 0	468 6
1950.....	534 6	495 2	420 8	466 7
1951.....	534 4	494 1	419 8	465 1
1952.....	534 1	492 4	418 7	463 7
1954.....	535 9	490 3	416 2	461 2

TABLEAU II.

Étalon.	Variation annuelle. ($\mu\Omega$).	Écart-type. ($\mu\Omega$).
E (52).....	—0,11	0,1
LN (65).....	—0,15	0,1
N (717).....	+0,26	0,1
S (85).....	+0,01	0,1
N (722).....	—0,05	0,1
N (725).....	—0,30	0,3
S (86).....	—0,16	0,1
S (87).....	—0,02	0,2
R (3751).....	—0,56	1,5
N (645).....	—0,98	0,5
M (9).....	—1,17	0,1
M (12).....	—1,54	0,3

Les résultats du tableau II suggèrent les commentaires suivants :

a. Les plus petits écarts-types observés sont de l'ordre de $0,1 \mu\Omega$; ils sont vraisemblablement dus aux erreurs de mesure.

b. Les quatre derniers étalons ont une résistance qui va en diminuant; ce sont des bobines dont le fil a été recuit à une plus basse température que les autres. Leurs fluctuations sont plus fortes, sauf pour M(9) qui suit correctement une loi linéaire. Par contre, l'étalon R(3731) dont le fil n'est pas protégé du milieu extérieur est très instable.

c. Les étalons N(722) et S(86) présentent les mêmes caractéristiques que les étalons du groupe GO'_3 : ils sont constitués d'un fil stabilisé par recuit à haute température, placé dans un boîtier hermétique, et leur résistance varie bien, avec le temps, suivant une loi linéaire.

Il nous semble donc que ces deux résistances pourraient être incorporées au groupe de référence du Bureau, qui serait alors constitué des six étalons :

E(32), LN(63), N(717), N(722), S(83) et S(86).

L'unité de résistance électrique du Bureau International serait déterminée en attribuant à ce groupe une valeur constante, jusqu'à ce que soient effectuées de nouvelles mesures absolues permettant d'établir la loi de variation de ce groupe avec le temps. Pour des raisons de continuité, la valeur constante attribuée à ce nouveau groupe de référence, désigné par GO_4 , pourrait être prise égale à celle qu'il avait en 1954 par rapport à GO'_3 :

$$GO_4 = 1,000\ 184\ 2\ \Omega_{BIPM}.$$

Parmi les étalons restants, la résistance R(3731) nous paraît varier de façon trop discontinue pour constituer un étalon utile; mais les cinq autres bobines peuvent constituer de bons étalons d'usage, à condition de connaître leur variation annuelle.

ANNEXE 9.

Bureau International des Poids et Mesures.

MESURE INTERFÉRENTIELLE
DE DEUX ÉTALONS A BOUTS D'UN MÈTRE
APPARTENANT
A L'INSTITUT GÉODÉSIQUE DE FINLANDE

Par J. TERRIEN.

En 1952, le Bureau International des Poids et Mesures a mesuré la longueur de deux étalons à bouts sphériques en silice d'un mètre nos XI et 21 de l'Institut Géodésique de Finlande, sans avoir pu, dans les délais prévus, élucider la cause de désaccords entre les trois méthodes employées; les résultats différaient en effet de quantités un peu supérieures aux erreurs estimées ⁽¹⁾.

En juillet 1953, M. Honkasalo a confié au B. I. P. M. les étalons nos XI et VIII, qui ont été mesurés par la méthode purement interférentielle (2^e méthode du Rapport de 1952), modifiée par quelques améliorations.

Les opérations successives ont été les suivantes :

1^o Mesure de la longueur optique d'un étalon interférentiel Perot-Fabry de 25 cm au moyen de la radiation verte du mercure 198, radiation dont la longueur d'onde est connue en fonction de celle de la radiation rouge du cadmium par les mesures de A. Pérard et J. Terrien au B. I. P. M.

2^o Mesure de la longueur optique d'un étalon interférentiel de 1 m par multiplication de la longueur précédente.

(1) *Procès-Verbaux du C. I. P. M.*, t. XXIII-A, 1952, Annexe IX, p. 157.

3° Après introduction de la règle de silice dans l'étalon d'un mètre, mesure de l'épaisseur des lames d'air à chaque extrémité. La longueur de la règle de silice se déduit des résultats obtenus, compte tenu de petites corrections.

1. MESURE DE L'ÉTALON PEROT-FABRY DE 25 cm. — Avec la radiation verte du mercure 198, on voit suffisamment bien dans l'étalon de 25 cm les anneaux d'interférence d'égale inclinaison pour mesurer l'excédent fractionnaire de l'ordre d'interférence au centre, mais aucune autre radiation n'est assez lumineuse pour que l'on puisse déterminer l'entier par la méthode des coïncidences. C'est pourquoi l'on a tout d'abord mesuré un étalon deux fois plus petit, de 12,5 cm, par la méthode des coïncidences, et comparé ensuite celui de 25 cm à celui de 12,5 par multiplication optique, en utilisant les franges de superposition en lumière blanche à incidence normale. Cette mesure préliminaire fait connaître l'ordre d'interférence en lumière verte de l'étalon de 25 cm, avec une précision suffisante pour fixer non seulement l'entier, mais encore une valeur approchée de l'excédent fractionnaire. Cet excédent est ensuite mesuré directement sur l'étalon de 25 cm.

A titre d'exemple, voici les résultats de la première mesure du 28 septembre 1953, réduits à la température de 20° C.

Longueur de l'étalon de 12,5 cm (anneaux à l'infini, méthode des coïncidences)...	125 073,565 μ
Longueur de l'étalon de 25 cm (multiplication par 2 du précédent).....	250 147,839
Longueur de l'étalon de 25 cm (excédent mesuré directement, valeur adoptée)...	250 147,833

Cette longueur a été mesurée 19 fois, entre le 28 septembre et le 26 octobre 1953. La stabilité de cet étalon de 25 cm était excellente; en effet, les résultats successivement obtenus sont restés compris entre les valeurs extrêmes 250 147,778 et 250 147,860 μ malgré une retouche légère du réglage du parallélisme. La valeur adoptée à chaque multiplication par 4 pour la mesure de l'étalon d'un mètre était la moyenne des résultats obtenus immédiatement avant et après. On peut estimer l'incertitude de cette valeur moyenne à $\pm 0,01 \mu$.

2. MESURE DE L'ÉTALON PEROT-FABRY D'UN MÈTRE. — Les franges de

superposition en lumière blanche entre un étalon d'un mètre et un étalon de 25 cm sont bien visibles à incidence normale, sans qu'il soit nécessaire de recourir aux faisceaux plats inclinés de Watanabe qui introduisent des sources d'erreurs. Nous avons donc opéré à incidence normale. Les franges étaient observées dans une lunette de 120 cm de focale réglée pour l'infini. La lunette et l'étalon d'un mètre étaient fixes, l'étalon de 25 cm était monté sur une plate-forme tournante. Selon la méthode indiquée par N. Cabrera et déjà utilisée en 1952, on mesurait, avec le micromètre placé dans le plan focal de la lunette, l'écart angulaire entre les deux positions stationnaires de la frange blanche, d'où l'on déduisait la différence entre la longueur optique de l'étalon d'un mètre et quatre fois celle de l'étalon de 25 cm. La frange blanche était facile à reconnaître, bien que les colorations de part et d'autre ne fussent pas parfaitement symétriques.

L'étalon Perot-Fabry d'un mètre a été mesuré ainsi 19 fois entre le 2 et le 24 octobre 1953. Les résultats à 20° C de toutes ces mesures sont compris entre les valeurs extrêmes $1\text{ m} + 594,94 \mu$ et $1\text{ m} + 594,81 \mu$, ce qui donne une idée de la stabilité de cet étalon. A chaque mesure d'une règle en silice, on adoptait pour la longueur de l'étalon Perot-Fabry d'un mètre la moyenne des résultats obtenus immédiatement avant et après.

L'incertitude sur la longueur de l'étalon Perot-Fabry d'un mètre comprend d'abord quatre fois l'incertitude sur celui de 25 cm, soit une quantité de l'ordre de $\pm 0,04 \mu$, à laquelle il faut ajouter $\pm 0,01 \mu$ pour tenir compte de l'erreur sur la petite différence de longueur déterminée au moyen des franges de superposition.

3. MESURE DES LAMES D'AIR ENTRE LES BOUTS DE LA RÈGLE DE SILICE ET LES GLACES TERMINALES DE L'ÉTALON PEROT-FABRY. — Comme en 1952, on a éclairé l'une des extrémités en lumière blanche et observé le spectre cannelé de la lumière réfléchié; on en déduisait l'épaisseur de la lame d'air, préalablement ajustée à 5μ environ, valeur pour laquelle la précision est la meilleure. L'incertitude correspondante, due principalement à la précision médiocre du spectromètre disponible, peut être estimée à $\pm 0,01 \mu$.

L'autre extrémité était éclairée en lumière monochromatique avec trois radiations du mercure, une du krypton, une du néon, et deux du zinc, et l'ordre d'interférence au centre des anneaux de Newton était déterminé par les coïncidences. L'erreur sur la

mesure de cette lame d'air, dont l'épaisseur était environ 0,4 mm, peut être évaluée à $\pm 0,01 \mu$.

Il en résulte que l'incertitude estimée sur la longueur d'une règle de silice, compte tenu des incertitudes des opérations successives, devrait être de l'ordre de $\pm 0,07 \mu$. Il convient d'y ajouter l'effet des défauts d'uniformité de température, et des erreurs sur la mesure de la température des étalons au moment des mesures. Le coefficient de dilatation des étalons Perot-Fabry en invar est environ 1μ par mètre et par degré C, et les incertitudes de température dans l'air étant probablement de quelques centièmes de degré, on peut estimer que le résultat final doit être exact à $\pm 0,1 \mu$ près.

4. CORRECTIONS. — Les corrections habituelles concernant l'indice de l'air, la dilatation de l'invar et la dilatation de la silice, ont été appliquées comme en 1952. De plus, on a tenu compte de la compressibilité des étalons de silice sous l'influence de la pression atmosphérique en utilisant les coefficients indiqués par Kukkamäki en 1933.

Enfin, des études supplémentaires ont permis de préciser deux points importants.

a. Identification de la frange d'ordre zéro dans les franges de superposition. — En 1952, on a admis que la frange blanche était d'ordre zéro. Ceci n'est vrai que si la perte de phase sur les couches semi-transparentes d'aluminium varie assez peu avec la longueur d'onde. Sinon, la frange blanche peut-être d'ordre 1 ou supérieur. Les miroirs semi-aluminés ont été montés sur un interféromètre de Perot-Fabry à distance variable, et l'on a observé les franges de superposition entre cet interféromètre et un étalon Perot-Fabry de 2 cm, successivement avec des multiplications par 1, 2, 3, 4 et 5. En aucun cas, les colorations ne sont devenues nettement dissymétriques. D'autre part, la mesure de l'étalon de 2 cm avec des radiations bleues et rouges a fourni la même longueur optique à quelques millièmes de micron près. Il résulte de ces constatations que, avec les aluminures de 1953, la perte de phase varie assez peu pour que la frange blanche soit d'ordre zéro dans une multiplication par 4.

Les aluminures de 1952 s'étant altérées avec le temps, elles ont été enlevées et refaites sans avoir été étudiées. Il n'est donc pas impossible qu'en 1952, dans la multiplication par 8, on ait

commis une erreur d'un ordre d'interférence, soit une demi-longueur d'onde ($0,27\mu$) sur un mètre. Cette erreur, peu probable, aurait conduit à des valeurs trop petites des étalons d'un mètre.

De plus, on s'est assuré que la position de la frange d'ordre zéro était la même lorsqu'on interposait un filtre vert sur le faisceau, afin que la longueur d'onde moyenne des radiations pendant la multiplication fût la même que pendant la mesure de l'étalon de 25 cm.

L'ensemble de ces observations n'introduit donc aucune correction supplémentaire.

b. Influence des changements de phase aux réflexions dans la mesure des lames d'air. — Les lames d'air comprises entre l'extrémité de silice polie et la face semi-métallisée de l'étalon Perot-Fabry d'un mètre étaient mesurées en éclairant de l'extérieur et en observant la lumière réfléchie (cf. § 3). Sur la silice, on sait que la perte de phase à la réflexion est π et il est facile d'en tenir compte. Sur la couche métallique semi-transparente, il faut bien noter que la réflexion est celle d'un rayon qui chemine dans le verre, tandis que la distance optique des deux couches métalliques a été mesurée par des rayons cheminant dans l'air et se réfléchissant sur l'autre face de chaque couche (cf. § 2). Il est donc indispensable de connaître la distance des plans optiques où semble se produire la réflexion, selon que la lumière frappe une couche sur une face ou sur l'autre.

Une théorie des interférences entre un rayon réfléchi sur le côté verre et une infinité de rayons se réfléchissant sur le côté air, explique pourquoi les franges observées sont dissymétriques et fournit le moyen de calculer, d'après la mesure de cette dissymétrie, la distance cherchée.

On a donc produit de telles franges avec les miroirs de l'étalon d'un mètre, mesuré leur dissymétrie, et calculé la distance cherchée. Le résultat a été $0,025\mu$.

Il en résulte qu'il faut ajouter à la longueur de chaque Mètre en silice une correction positive de $0,050\mu$.

5. AMÉLIORATIONS PAR RAPPORT AUX MESURES DE 1952. — Rappelons les améliorations apportées depuis 1952.

a. On a mesuré directement par interférences une longueur

initiale de 25 cm, au lieu de 12,5 cm, ce qui double la précision finale.

b. La multiplication optique pour le passage à un mètre comportait un facteur 4 au lieu de 8, ce qui a permis d'abandonner la méthode de Watanabe au profit de celle de Fabry. L'incidence de la lumière étant quasi normale, les tolérances sur les valeurs des angles d'incidence sont beaucoup moins sévères et les légères flexions ou imperfections des supports mécaniques n'ont plus aucune importance.

c. Une étude spéciale a été faite pour s'assurer de l'ordre d'interférence de la frange blanche, ce qui élimine toute suspicion sur la possibilité d'une erreur d'une demi-longueur d'onde.

d. On a tenu compte de « l'épaisseur optique » des couches semi-transparentes d'aluminium, qui réfléchissent la lumière sur la face air dans un cas et sur la face verre dans l'autre cas, et calculé la correction correspondante qui s'élève à 0,05 μ .

e. Les étalons Perot-Fabry, dont la longueur a été ajustée à loisir avant les expériences, se sont montrés plus stables qu'en 1952, malgré les transports d'étalons de la salle où l'on mesurait celui de 25 cm et l'épaisseur des lames d'air, à la salle contiguë où l'on produisait les franges de superposition pour la multiplication optique. Ces transports, qui auraient pu être évités au prix de changements assez importants dans les installations existantes, ont sans doute diminué la précision des résultats, mais d'une quantité inférieure à la somme des autres erreurs, comme l'a montré la concordance des mesures successives de l'étalon d'un mètre.

6. RÉSULTATS. — Toutes corrections faites, les résultats à 20° C sous la pression atmosphérique normale sont les suivants :

$$\begin{aligned} \text{Étalon n}^\circ \text{ XI} &= 1 \text{ m} + 135,94 \mu, \\ \text{» n}^\circ \text{ VIII} &= 1 \text{ m} + 149,89 \mu. \end{aligned}$$

Ces valeurs sont la moyenne de cinq mesures indépendantes, dont les résultats individuels diffèrent de la moyenne des quantités suivantes :

N ^o XI.	N ^o VIII.
-0,07 μ	-0,02 μ
+0,06	+0,03
-0,03	+0,09
-0,02	-0,10
+0,07	0,00

S'il ne subsiste pas d'erreur systématique supérieure à quelques centièmes de micron, la dispersion de ces résultats confirme l'estimation donnée précédemment d'après laquelle l'incertitude de chaque mesure serait de l'ordre de $\pm 0,1 \mu$, c'est-à-dire cinq fois plus petite qu'en 1952.

(29 décembre 1953.)

Note ajoutée en cours d'impression. — L'étalon de longueur pour ces mesures était la longueur d'onde de la radiation verte du mercure 198. Cette longueur d'onde a été mesurée en 1949 et en fin 1951, par rapport à celle de la radiation rouge du cadmium de la lampe de Michelson; la valeur trouvée, $0,546\ 075\ 32 \mu$ dans les deux cas, a été adoptée pour les mesures relatées ci-dessus. Mais en 1954, une nouvelle comparaison a fourni la valeur $0,546\ 075\ 28 \mu$, soit une variation relative de $0,07 \cdot 10^{-6}$. On a des raisons de penser, sans en être absolument certain, que ce changement de propriétés de notre tube à mercure 198 est postérieur à la mesure de ces étalons de silice.

ANNEXE 10.

Bureau International des Poids et Mesures.

LE NOUVEAU DILATOMÈTRE
POUR FILS GÉODÉSIQUES
DU BUREAU INTERNATIONAL

Par A. BONHOURE.

L'étude des fils et rubans géodésiques figure au programme des travaux du Bureau International depuis que la découverte de l'invar, il y a plus d'un demi-siècle, en a généralisé l'emploi. Pendant longtemps on s'est contenté seulement de mesurer la longueur de ces instruments à la température du laboratoire et d'utiliser, pour tenir compte de leur dilatation, un coefficient moyen déterminé par des mesures effectuées au comparateur sur quelques échantillons de 1 m de longueur prélevés sur chaque livraison de fil d'invar au Bureau International. On admettait alors qu'un lot de fil issu d'une même coulée d'invar et ayant subi le même étuvage présentait un coefficient de dilatation bien homogène.

Cependant, vers l'année 1934, on a voulu avoir la possibilité de mesurer cette dilatation sur les fils eux-mêmes et l'on a construit dans ce but un appareil simple qui a été utilisé avec profit pendant 20 ans.

Les résultats obtenus avec ce dilatomètre ont montré que dans un même lot de fil d'invar, issu de la même coulée et ayant subi

le même traitement, le coefficient de dilatation pouvait varier d'un échantillon à l'autre d'une quantité notable. On a relevé par exemple les différences ci-dessous :

Livraisons.	N° des fils.	Allongements d'un fil de 24 m pour une variation de température de 10 deg C.		Différences.
		$\alpha_{25, 10^6}$ par deg C.		
3.....	{ 96	+0,640	+154 μ	61 μ
	{ 110	+0,897	+215	
8.....	{ 286	-0,219	- 53	63
	{ 294	+0,042	+ 10	
8 bis...	{ 383	-0,147	- 35	105
	{ 386	+0,291	+ 70	
14.....	{ Essai 2	+0,245	+ 59	50
	{ 1130	+0,455	+109	

Ancien dilatomètre. — Cet appareil comprenait essentiellement une gaine en chêne, recouverte extérieurement de liège aggloméré, dont la forme épousait la courbure des fils de 24 m de longueur soumis à une traction de 10 kg-force (98,1 newtons). Cette gaine était partagée dans le sens de la hauteur en deux compartiments. Dans celui du bas, quatre fils de résistance s'étendaient parallèlement d'un bout à l'autre de la gaine pour assurer son chauffage par le courant électrique. Le compartiment du haut, fermé par un double couvercle, contenait le fil géodésique et les huit thermomètres à mercure destinés à mesurer sa température. Il n'était donc pas possible d'abaisser la température de l'appareil au-dessous de l'ambiante et les mesures s'effectuaient entre 15 à 20° C selon la saison et 35° C.

La gaine était formée de six éléments de 3 m de longueur et de deux éléments de 2,75 m chacun pour les extrémités. Le fil dépassait donc d'un peu plus de 25 cm à chaque bout de la gaine. Ces divers éléments pouvaient être placés temporairement sur les rails de la base de 24 m dont on utilisait les microscopes extrêmes pour mesurer les allongements du fil d'invar à l'étude.

L'élévation de la température de la gaine était assez rapide, mais son abaissement jusqu'à la température ambiante l'était

beaucoup moins. Pratiquement, les mesures étaient faites suivant le schéma ci-après, donné à titre d'exemple :

1 ^{er} jour.	{	8 ^h 50.....	17,4° C
		10 35.....	25,8
		12 00.....	33,3
		14 25.....	34,5
		15 55.....	26,0
2 ^e jour.	{	18 00.....	21,7
		8 50.....	17,6

L'impossibilité d'utiliser cet appareil au-dessous de la température ambiante réduisait sensiblement son intervalle d'emploi en été, puisque pendant cette saison la température de la base dépasse quelquefois 19° C. D'autre part, en hiver, on ne pouvait guère profiter des périodes de basse température pour refroidir la base, où était installé le dilatomètre, sans perturber sérieusement la température de tout l'observatoire. L'uniformité de la température de la gaine contenant le fil géodésique laissait aussi à désirer. On constatait en effet, entre les lectures des thermomètres et leur moyenne, des écarts atteignant quelquefois près d'un degré à la température maximum que pouvait atteindre l'appareil (35° C).

Nouveau dilatomètre. — Le nouveau dilatomètre (*fig. 1*) que la Société Prolabo, Paris, a établi avec notre collaboration est, comme le précédent, spécialement adapté aux fils géodésiques en invar de 24 m de longueur. Il est constitué par une auge en laiton d'une section intérieure de 6 × 7 cm. Cette auge, à double paroi étanche, est reliée par des canalisations à une cuve thermostatique contenant un thermomètre à mercure à contacts et quatre chauffeurs à résistance électrique (trois de 1500 W et un de 500 W). Toutes ces enceintes sont remplies d'eau, qu'une pompe rotative, d'un débit de 1 litre par seconde, oblige à circuler rapidement. Un serpentin, branché en dérivation sur le circuit principal, est contenu dans une cuve cylindrique que l'on peut remplir d'eau et de glace lorsqu'on doit refroidir l'eau de circulation. Des vannes permettent de diriger cette eau dans le serpentin ou, au contraire, de mettre celui-ci hors circuit (*fig. 2*).

L'auge contenant le fil géodésique, placé ainsi dans l'air, est fermée par un premier couvercle en aluminium garni de laine de

verre. Un second couvercle à section en Π , en bois contreplaqué épais, recouvre l'auge entièrement (*fig. 3*).

Des regards fermés par des glaces ont été ménagés dans les couvercles, pour permettre de lire la température intérieure de l'auge, indiquée par huit thermomètres à mercure étalonnés, également répartis sur toute la longueur de l'appareil et placés au voisinage immédiat du fil d'invar.

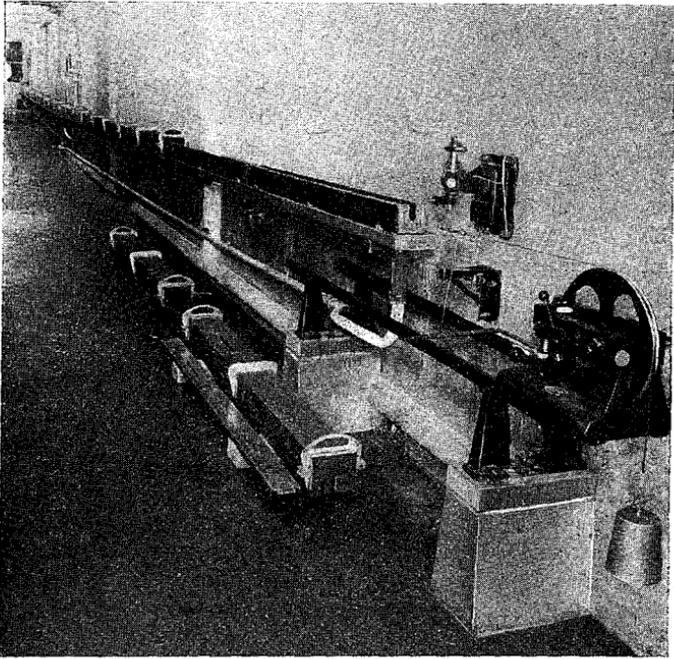


Fig. 1. — Vue d'ensemble du dilatomètre.

Il n'était pas possible de construire d'une seule pièce cet appareil de 24 m de longueur. L'auge en laiton et les couvercles sont donc constitués de dix éléments de 2 m de longueur chacun, et de deux éléments de 1,80 m pour les extrémités de l'appareil, afin de dégager les microscopes qui servent à mesurer les allongements du fil en cours d'étude.

Ces éléments, placés bout à bout, reposent sur un plancher qui

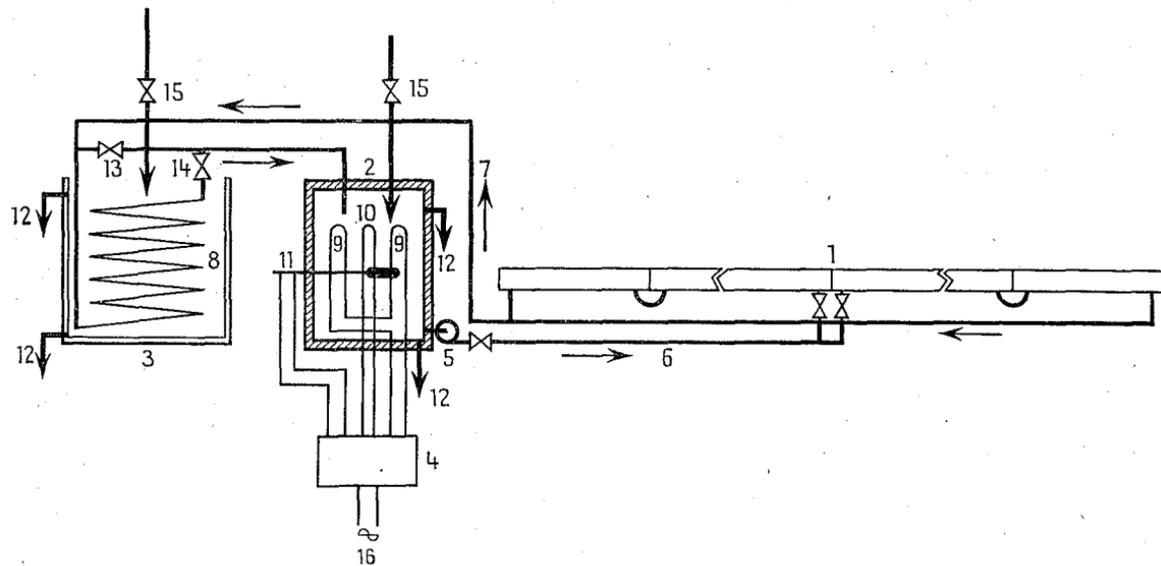


Fig. 2. — Schéma du dilatomètre.

- 1, Auge contenant le fil à étudier; 2, Cuve de réglage de la température; 3, Cuve de refroidissement; 4, Boîtier de régulation; 5, Pompe de circulation de l'eau; 6, Tuyauterie d'amenée d'eau; 7, Tuyauterie de retour d'eau; 8, Serpentin de refroidissement; 9, Résistances de chauffage; 10, Résistance de régulation; 11, Thermomètre régulateur à contacts; 12, Trop-plein et vidange; 13, Vanne du circuit de chauffage; 14, Vanne du circuit de refroidissement; 15, Arrivée d'eau; 16, Secteur électrique.

est lui-même supporté par des ferrures scellées dans l'un des murs de la galerie souterraine où est installée la base géodésique du Bureau International. Les effets de la dilatation des éléments de l'auge en laiton sont absorbés par des joints en caoutchouc mousse intercalés entre ces éléments. Ceux-ci sont immobilisés sur le plancher à une de leurs extrémités, tandis que l'autre extrémité joue librement sur un rouleau.

La circulation de l'eau d'un élément à l'autre est assurée par un tube extérieur coudé, de 40 mm de diamètre, dont les branches

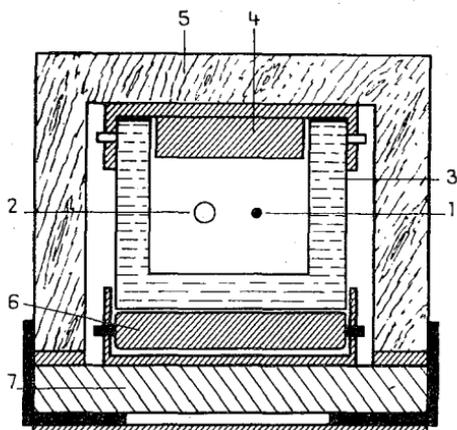


Fig. 3. — Coupe transversale de l'auge.

1, Fil d'invar; 2, Thermomètre; 3, Gaine de circulation de l'eau; 4, Couvercle en aluminium; 5, Couvercle en bois contreplaqué; 6, Rouleau; 7, Plancher.

parallèles traversent le plancher de l'appareil pour se raccorder à la partie inférieure des éléments en laiton. L'eau venant de la cuve de régulation arrive au milieu de l'auge et sort aux deux extrémités pour retourner ensuite à la cuve.

Des chicanes ont été placées entre les deux parois des éléments de l'auge, près des orifices d'entrée et de sortie de l'eau, pour obliger celle-ci à remplir tout l'espace compris entre les parois et éviter ainsi la formation de poches d'air qui nuiraient à l'uniformité de la température de l'enceinte.

Le thermomètre à contacts placé dans la cuve de régulation commande le fonctionnement du chauffeur de 500 W par l'intermédiaire d'un relais. La mise en circuit ou hors circuit des trois

chauffeurs de 1500 W est faite manuellement. L'appareil a été conçu pour que les mesures soient effectuées au voisinage de 5, 22,5 et 40° C. On pourrait évidemment modifier ces températures en utilisant simplement un autre thermomètre à contacts, approprié au réglage désiré.

Le mode de refroidissement de l'eau de circulation par la glace, qui est utilisé dans ce dilatomètre, a été choisi par souci d'économie. Si les frais de premier établissement sont en effet des plus réduits avec ce procédé, il oblige par contre à des manipulations qui seraient totalement évitées par l'emploi d'un appareil frigorifique. Dans le cas d'une utilisation fréquente du dilatomètre, on aurait probablement avantage à adopter ce dernier procédé.

Les deux microscopes qui servent à mesurer les allongements du fil d'invar sont munis de micromètres et ont un grossissement $\times 25$ environ. Ils sont fixés sur des supports en fonte, scellés dans le mur de la base. Le contrôle de la distance de ces microscopes est effectué à l'aide d'un fil d'invar, spécialement choisi pour sa très faible dilatabilité, et dont les extrémités sont fixées à deux équerres scellées dans le mur à l'aplomb de chaque microscope, sous le dilatomètre. Il n'a pas été possible de rapprocher davantage les points d'attache de ce fil du foyer des microscopes, pour des raisons d'encombrement du dilatomètre ou de ses accessoires.

La mesure des variations de la flèche de ce fil de contrôle permet de calculer facilement les changements qui surviennent dans la distance des microscopes pendant les mesures de dilatation. Dans les conditions de tension du fil qui ont été réalisées ici, les variations de la flèche sont quatorze fois plus grandes environ que les variations de la portée ⁽¹⁾. L'amplification importante donnée par ce procédé permet d'utiliser un simple palmer pour mesurer les variations de la flèche.

Équipement des fils. — Les fils géodésiques dont l'étude est demandée au Bureau International sont munis à chaque extrémité d'une réglette comportant une graduation en millimètres dont les traits, assez larges (50 à 100 μ), sont le plus souvent observés à la loupe. Ces traits assez grossiers ne conviennent pas bien aux observations avec des microscopes. Pour les mesures au dilato-

⁽¹⁾ Cette question a été traitée en détail par J. S. CLARK, *50-Metre Mural Comparator at the National Physical Laboratory (The Engineer, 17 et 24 février 1950)*.

mètre nous fixons par des brides, sur chacune des réglettes, une plaquette d'invar polie spéculairement (*fig. 4*) sur laquelle on a gravé une série de traits fins (10μ) recoupés par deux traits parallèles (traits longitudinaux) qui définissent l'axe du fil. Ces plaquettes, de 4 cm de longueur, portent sur l'envers une rainure longitudinale dans laquelle s'engage l'arête de la réglette du fil. Leur épaisseur croissante d'un bout à l'autre, compense l'inclinaison des réglettes (2 %) lorsque le fil est tendu sous 10 kg-force. La surface tracée des plaquettes se présente ainsi dans un plan horizontal sous les microscopes lorsque, dans le sens transversal, on a orienté convenablement les réglettes à l'aide d'aiguilles ver-

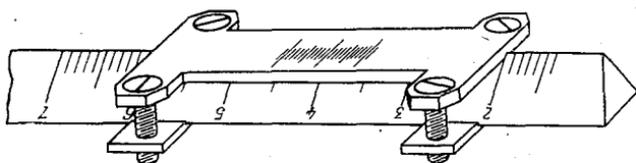


Fig. 4. — Plaquette auxiliaire graduée.

ticales légères qui leur sont fixées par une pince. Ces aiguilles sont assez longues pour s'engager librement dans un guide reposant sur les rails qui supportent les poulies de traction.

L'une de ces poulies comporte un dispositif qui l'immobilise ou qui permet de la faire tourner très lentement en communiquant au fil de très petits déplacements longitudinaux. On peut ainsi faire les observations à l'aide des microscopes après déplacement du fil dans un sens, puis les répéter après un nouveau déplacement dans le sens opposé, afin d'éliminer autant que possible les erreurs dues aux frottements des poulies.

Observations et résultats. — La détermination de la dilatation d'un fil s'effectue en une seule journée. A titre d'exemple, les observations du 24 novembre 1954 sur le fil n° 388 ont été faites selon l'horaire suivant :

8 ^h 50.....	39,8° C
9 50.....	22,5
11 15.....	7,7
11 35.....	7,6
14 30.....	22,3
16 20.....	39,3

Le chauffage de l'appareil avait commencé à 7 h. L'abaissement de la température de l'eau de circulation a été obtenu en utilisant d'abord l'eau de la ville par écoulement continu dans la cuve de refroidissement contenant le serpentin et l'appoint de 120 kg de glace concassée.

Les températures indiquées par les huit thermomètres de l'auge, au voisinage de 40°C, présentent par rapport à leur moyenne, des écarts atteignant au maximum 0,25 degré. Aux températures plus basses ces écarts ne dépassent qu'exceptionnellement 0,1 degré.

Six fils géodésiques de 24 m, en invar, ont été jusqu'à présent étudiés à l'aide de l'ancien (A) et du nouveau (N) dilatomètre. Les résultats de ces mesures sont reproduits ci-dessous :

		$\alpha_0 \cdot 10^6$	$\beta \cdot 10^9$	$\alpha_{25} \cdot 10^6$		N-A.
Coulée 68 560, n° 1	{ A...	-0,809	+3,59	-0,629	—	+0,018
	{ N...	-0,814	+4,05	—	-0,611	
» 68 560, n° 2	{ A...	-0,920	+4,25	-0,708	—	+0,006
	{ N...	-0,886	+3,67	—	-0,702	
Fil n° 383	{ A...	+0,220	+0,54	+0,247	—	+0,016
	{ N...	+0,287	-0,47	—	+0,263	
» 386	{ A...	+0,277	+0,30	+0,292	—	+0,014
	{ N...	+0,330	-0,48	—	+0,306	
» 387	{ A...	+0,157	+0,27	+0,170	—	+0,007
	{ N...	+0,176	+0,02	—	+0,177	
» 388	{ A...	+0,002	+0,82	+0,043	—	0,000
	{ N...	+0,019	+0,49	—	+0,043	

Pour chaque fil, les valeurs de α_{25} sont en bonne concordance, mais on remarque que le second terme, β , des formules obtenues avec le nouveau dilatomètre est presque toujours plus faible que le β issu des mesures faites avec l'ancien appareil. Il s'agit de différences qui correspondent à des écarts possibles de quelques microns sur les mesures de longueur, donc à la limite de leur précision.

Les observations effectuées avec le dilatomètre Prolabo s'étendent sur un intervalle de température de 32 degrés environ, tandis que celles qui ont été exécutées avec l'ancien dilatomètre ne correspondent qu'à un intervalle de 17 à 18 degrés seulement.

Le β déduit des mesures avec le nouveau dilatomètre est sans doute plus précis que celui qui a été obtenu avec l'ancien.

Conclusion. — Le nouvel appareil qui vient d'être décrit, quoique spécialement adapté aux fils géodésiques de 24 m de longueur, peut aussi être utilisé pour l'étude de fils plus longs, en opérant successivement sur plusieurs parties de ces fils. Des pinces spéciales permettent en effet de saisir le fil nu pour lui appliquer la traction de 10 kg-force, et les plaquettes tracées dont on a parlé plus haut peuvent être fixées directement sur le fil, aux endroits convenables, pour permettre d'observer avec les microscopes les variations de sa longueur.

L'étude des rubans est possible aussi, à la seule condition que leur section ne s'écarte pas trop de celle des fils (2,3 mm²). De petites modifications de la tension, sans influence sensible sur les résultats, permettent de corriger la courbure du ruban si sa section est un peu différente de celle qui vient d'être indiquée.

En résumé, le nouveau dilatomètre présente, par rapport à l'ancien, les avantages suivants :

L'intervalle de température dans lequel les mesures peuvent être exécutées est de 30 degrés au moins, alors qu'autrefois il n'atteignait que 15 à 18 degrés selon les saisons.

L'uniformité de la température dans l'auge est nettement meilleure, puisqu'on n'observe plus entre les thermomètres que des écarts de 0,2 à 0,3 degré à 40° C, au lieu de 1 degré à 35° C. On pourrait vraisemblablement améliorer encore l'uniformité de la température, en augmentant le débit de la pompe de circulation de l'eau. Mais la fragilité relative des joints soudés entre les deux parois des éléments de l'auge, interdit de dépasser la pression de 0,5 kg/cm² dans l'enceinte.

NOTICES NÉCROLOGIQUES

EDVARD SEXTUS JOHANSEN

(1879-1954).

Par T. BJERGE.

C'est avec une profonde tristesse que les amis et collègues du Professeur E. S. Johansen ont reçu l'annonce de sa mort survenue le 19 mai 1954.

E. S. Johansen naquit le 8 août 1879 dans la petite ville de Nyborg, au Danemark. Dès l'école il se montra particulièrement doué pour les mathématiques et les sciences physiques. Mais ce ne fut qu'après avoir été employé pendant quelques années à la Télégraphie Danoise qu'il passa, en 1900, son baccalauréat afin de pouvoir étudier la physique à l'Université de Copenhague.

Il obtint son diplôme définitif en 1906 et il fut ensuite attaché à l'Institut photothérapique Finsen comme physicien. En cette qualité il commença l'étude de la distribution spectrale de l'énergie des sources de lumière employées dans la photothérapie. Comme prolongement de ces recherches, il fit en 1907-1908 un voyage d'études à Berlin, Londres et Leyde, où il travailla successivement chez le Professeur E. Warburg et dans les laboratoires de Sir William Ramsay et du Professeur Kamerlingh Onnes. A Berlin il participa, entre autres, au développement du bolomètre à vide pour les mesures de rayonnement, et ceci l'amena, après son retour à Copenhague, à étudier les questions relatives à la théorie et à la construction des piles thermoélectriques à vide. Il accomplit dans ce domaine un très beau travail fondamental qui a sans doute le plus contribué à sa réputation de physicien (*Annalen der Physik*, 1910).

A son retour à Copenhague, E. S. Johansen fut nommé Assistant à l'École Polytechnique et, en 1914, Maître de conférences. En 1921, il succéda à K. Prytz comme Professeur de physique à cette même École. A ce poste il a consacré la partie essentielle de son activité à l'amélioration de l'enseignement de

la physique. Son désir de comprendre jusqu'au fond la cohérence des phénomènes physiques le conduisit à une étude approfondie qui lui permettait de présenter d'une manière simple et claire, dans ses cours et dans ses traités, des sujets aussi peu accessibles que, par exemple, la théorie spéciale et la théorie générale de la relativité. Ses élèves lui gardent une sincère gratitude pour cet enseignement et ses traités continueront à être pour eux une source de compréhension de la physique.

Le vif intérêt qu'il portait au développement des études physiques l'amena, avec d'autres savants, à la fondation de l'Association danoise de Physique, dont il fut plusieurs fois le Président. Il fut également, pendant beaucoup d'années, rédacteur de la *Revue physique danoise*.

En 1928, E. S. Johansen fut élu Membre du Comité International des Poids et Mesures. Pendant la longue suite d'années où il remplit ces fonctions, il participa avec une ardeur soutenue au travail du Comité International. Pendant la plus grande partie de ce temps, il fut Membre de la Commission des Finances et à plusieurs reprises Président de celle-ci. En 1952, il remit sa démission au Comité, qui le nomma aussitôt Membre honoraire.

L'intérêt si vif de E. S. Johansen pour les sciences de la nature ne l'empêchait pas de porter aussi un intérêt profond au côté humaniste de la culture. Il s'occupait beaucoup d'études linguistiques et littéraires, et particulièrement l'histoire et la philosophie avaient sa prédilection. Aussi était-il un homme de haute culture, qui par son amabilité et son humour tranquille se faisait beaucoup d'amis.

En 1909 il épousa Ellen Prytz, qui est décédée en 1943.

Dans sa recherche incessante de la vérité, E. S. Johansen sut unir une curiosité scientifique constante à une mentalité profondément religieuse.

Pendant les dernières années de sa vie, il fut Président de la Communauté unitaire du Danemark.

Ses amis et ses élèves conserveront de lui un souvenir empreint d'une reconnaissance profonde.



ZDZISŁAW ERASME RAUSZER

(1877-1952).

Par J. JASNORZEWSKI.

Le 20 octobre 1952 est mort subitement Zdzisław Rauszer, Ingénieur-technologue, Docteur honoraire ès sciences techniques, chevalier-commandeur de l'Ordre de *Polonia Restituta*, fondateur du Service Polonais des Mesures et premier Directeur du Bureau National des Mesures de Pologne, Membre titulaire de la Société des Sciences de Varsovie, Membre du Conseil National de l'Arpentage, Président de la Commission de Métrologie du Comité National de Normalisation, Délégué de la République Populaire de Pologne aux Septième, Huitième et Neuvième Conférences Générales des Poids et Mesures, Membre du Comité International des Poids et Mesures, Président de la Première Conférence Internationale de Métrologie Légale.

Zdzisław Rauszer naquit à Varsovie en 1877. Après avoir suivi l'école secondaire à Varsovie, il entra à la Faculté de Mécanique de l'Institut Technologique de Saint-Pétersbourg; il termina ses études en 1903. Il commença son travail scientifique à la Chambre Centrale des Poids et Mesures de Saint-Pétersbourg, sous la direction du célèbre Mendéléév.

Pendant la première guerre mondiale, il avait élaboré un projet de loi polonaise sur les mesures : c'est sur la base de ce projet que fut publié, après la libération de la Pologne, le décret concernant les mesures, en date du 8 février 1919. Ce décret a introduit le Système Métrique comme seul système légal et obligatoire en Pologne.

Nommé le 1^{er} avril 1919 Directeur du Bureau National des Mesures, Z. Rauszer organisa le Service des Mesures en Pologne et réalisa, dans un très court délai, les dispositions du décret. Son travail avait un triple caractère : organisateur-administratif, métrologique-légal et scientifique-explorateur.

Les travaux essentiels du défunt portent sur la définition des notions fondamentales et de la terminologie dans la métrologie technique et légale, sur l'élaboration d'une série de méthodes de recherches scientifiques et techniques dans le domaine de la métrologie, sur la conception des projets de laboratoires et stations de recherche.

Par l'élaboration de règlements et d'instructions concernant le contrôle et le poinçonnage, ainsi que par la création d'un réseau dense de bureaux de mesure régionaux sur le territoire entier de la Pologne, l'équipement de ces derniers en instruments de mesure nécessaires et la formation de métrologistes et d'administrateurs, il créa un Service des Mesures parmi les plus modernes du Monde, malgré toutes les difficultés de l'époque.

Il participa très activement depuis 1927 aux travaux des Conférences Générales des Poids et Mesures, puis aux travaux du Comité International des Poids et Mesures dont il fut nommé Membre en 1936.

Pendant la guerre de 1939 et l'occupation, Z. Rauszer a fait preuve d'une fermeté de caractère inébranlable et d'un grand courage que n'ont troublé ni les coups, ni les persécutions que l'occupant lui prodigua. En effet, sa femme et sa fille unique furent assassinées.

Pendant l'insurrection de Varsovie (1944), le Bureau National des Mesures cessa d'exister. Ses employés furent, soit massacrés, soit déportés dans des camps de concentration ou des camps de travail forcé; l'édifice du Bureau, partageant le sort de la capitale, fut miné, incendié et complètement détruit avec tous ses instruments et la grande bibliothèque métrologique. L'incendie n'épargna pas davantage le manuscrit de plusieurs centaines de pages d'un traité de Z. Rauszer sur la métrologie légale, technique et scientifique.

Après la libération, Z. Rauszer, sorti d'un camp de travail forcé, se mit avec une énergie juvénile, avec l'aide de ses quelques collaborateurs qui avaient survécu, à reconstituer le Service des Mesures de Pologne et à reconstruire son siège central, le Bureau National des Mesures. En même temps, il prit part à deux sessions du Comité International des Poids et Mesures et à la Neuvième Conférence Générale des Poids et Mesures.

Les conditions nouvelles, la nationalisation de l'industrie et son essor rapide eurent, comme résultat, d'augmenter l'importance du Service des Mesures. Les grands moyens financiers

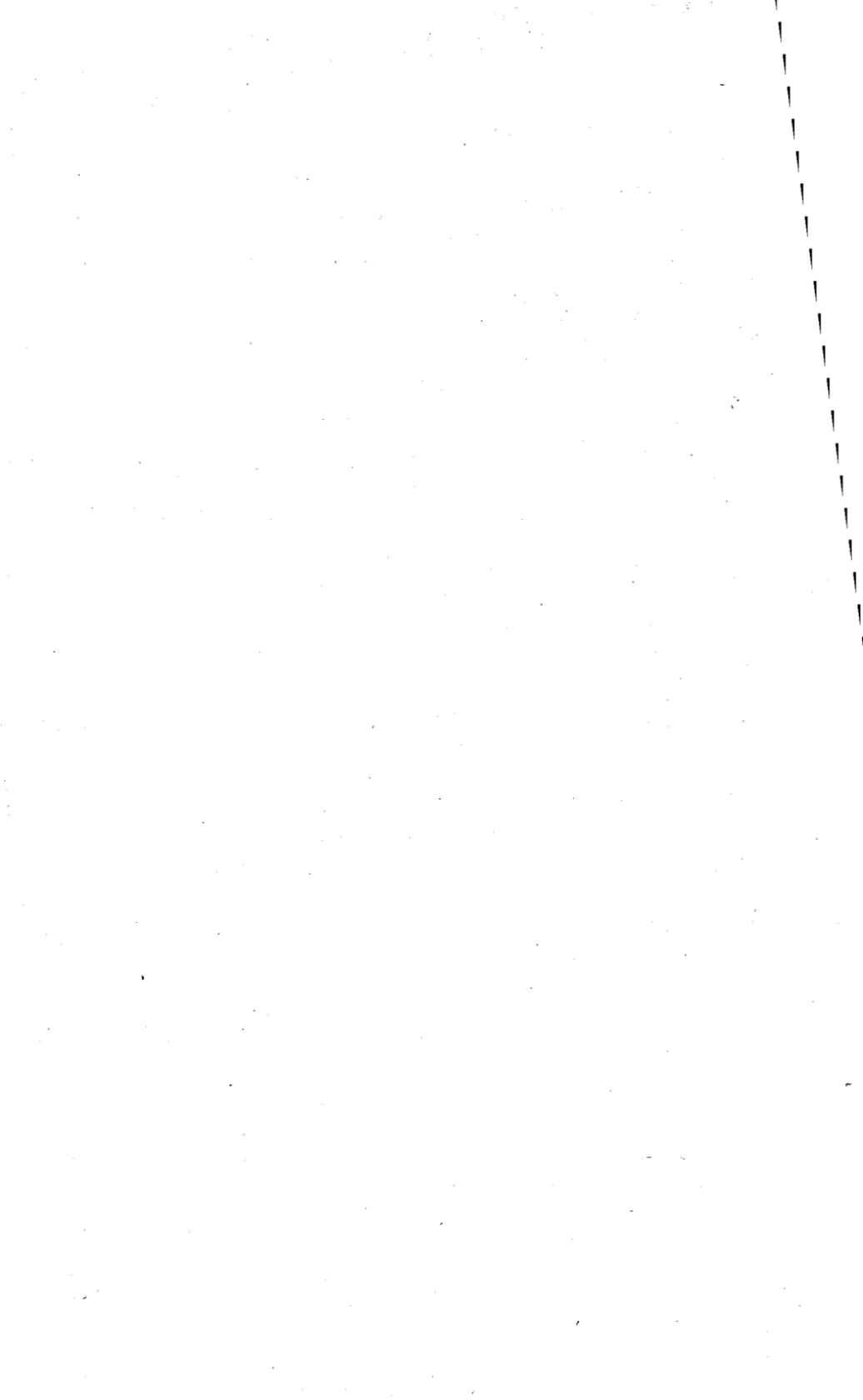
accordés par le Gouvernement de la République Populaire de Pologne permirent de développer et de réaliser les projets les plus vastes établis par Z. Rauszer.

Après trente ans de travail continu au poste de Directeur du Bureau National des Mesures, Z. Rauszer demanda sa mise à la retraite, laissant le Service des Mesures aux mains de ses collaborateurs, qu'il avait lui-même formés.

Les publications scientifiques les plus importantes de Z. Rauszer sont : *Projet de loi concernant les mesures* (avec commentaires), *Les unités de mesure dans le Royaume de Pologne avant la publication du décret concernant les mesures, du 8 février 1919*, *Le dixième anniversaire du Service des Mesures en Pologne*, *Les défauts et les corrections des instruments de mesure*, *Le mesurage du point de vue légal*, *L'introduction du Système Métrique en Pologne*. A côté de ses travaux scientifiques, publiés sous la forme de Mémoires, il a laissé un très grand nombre de règlements et d'instructions concernant le contrôle et le poinçonnage, qui forment un véritable manuel de métrologie appliquée.

L'excès de travail auquel il se livrait lui interdit d'achever une œuvre fondamentale traitant de la théorie des grandeurs. Jusqu'aux derniers jours de sa vie de labeur, il prit part, d'une manière active, aux travaux du Comité de Normalisation de Pologne, et ceci en tant que Président de la Section de Terminologie. En même temps, il élaborait une note explicative relative au projet de Convention Internationale de Métrologie Légale.





COMITÉ CONSULTATIF POUR LA DÉFINITION DU MÈTRE

SESSION DE 1983

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

RAPPORT ET ANNEXES

PRÉSIDENT
du Comité International des Poids et Mesures

M. J. E. SEARS

LISTE DES MEMBRES
DU
COMITÉ CONSULTATIF
POUR LA DÉFINITION DU MÈTRE

Président :

M. R. H. FIELD, Membre du Comité International des Poids et Mesures, Metrology Section, Division of Physics, National Research Council, *Ottawa*.

Membres :

MM. J. CABANNES, Professeur à la Sorbonne, *Paris*.

B. EDLÉN, Professeur à l'Université de *Lund*.

J. STULLA-GÖTZ, Conseiller au Bureau Fédéral des Poids et Mesures, *Vienne*.

Y. VÄISÄLÄ, Professeur à l'Université de *Turku*.

Pour la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, *Braunschweig* : M. E. ENGELHARD, Abteilung I, Physikalisch-Technische Bundesanstalt.

Pour le National Research Council, *Ottawa* : M. K. M.

BAIRD, Division of Physics, National Research Council.

Pour le National Bureau of Standards, *Washington* :
M. E. C. CRITTENDEN, Conseiller du National Bureau
of Standards.

Pour le Conservatoire National des Arts et Métiers,
Paris : M. M. BELLIER, Directeur du Laboratoire
d'Essais du Conservatoire.

Pour le National Physical Laboratory, *Teddington* :
M. H. BARRELL, Senior Principal Scientific Officer,
National Physical Laboratory.

Pour la Commission de Métrologie, *Milan* : M. E.
PERUCCA, Directeur de l'École Polytechnique, *Turin*.

Pour le Central Inspection Institute of Weights and
Measures, *Tokyo* : M. TAMANO, Directeur du Central
Inspection Institute of Weights and Measures.

Pour la Chambre Centrale des Mesures et Instruments
de Mesure, *Moscou* : M. M. JUDINE, Directeur de
l'Institut de Métrologie. M. A. I. KARTACHEV, Section
d'Optique, Institut de Métrologie.

Pour l'Association Internationale de Géodésie : M. P.
TARDI, Secrétaire Général de l'Association Interna-
tionale de Géodésie, *Paris*.

Pour l'Union Astronomique Internationale : M. J.
CABANNES, Professeur à la Sorbonne, *Paris*.

Pour l'Union Internationale de Physique Pure et
Appliquée : M. A. PÉRARD, Directeur honoraire du
Bureau International des Poids et Mesures, *Paris*.

Pour le Bureau International des Poids et Mesures,
Sèvres : M. CH. VOLET, Directeur.

ORDRE DU JOUR

DE LA SESSION

A. — QUESTIONS PRINCIPALES.

- A-1. Le moment est-il venu de recommander l'adoption d'une nouvelle définition du mètre basée sur une longueur d'onde lumineuse?
- A-2. Le vide et l'air normal dans la définition d'une longueur d'onde.
- A-3. Méthode pour définir la source de lumière.
- A-4. Recommandations à faire au Comité International des Poids et Mesures concernant un changement de la définition du mètre.
- A-5. Travaux expérimentaux qu'il conviendrait d'entreprendre avant de faire le choix d'une longueur d'onde étalon qui préserve la valeur actuelle de la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium ainsi que celle du Prototype international du mètre.

B. — QUESTIONS SECONDAIRES.

- B-1. Recommandations concernant les sources de lumière à employer en interférométrie.
- B-2. Valeurs approuvées par le Comité International des Poids et Mesures pour l'indice de réfraction de l'air en fonction de la longueur d'onde, de la température, etc.

- B-3. Valeurs approuvées par le Comité International des Poids et Mesures pour les longueurs d'onde utilisées en interférométrie comme étalons auxiliaires.
- B-4. Méthodes expérimentales pour la comparaison des longueurs d'onde lumineuse, des étalons à bouts et des étalons à traits entre eux.
- B-5. Le statut futur des prototypes en platine iridié.
- B-6. Le rôle que joueront en métrologie les ondes lumineuses, les étalons à bouts et les étalons à traits considérés comme étalons de référence pour les longueurs.
- B-7. Le rôle du Bureau International dans le domaine des longueurs et l'équipement dont il aura besoin dans le cas où l'on adopterait une définition du mètre par une longueur d'onde.
- B-8. La production d'isotopes convenables et le développement futur des sources de lumière extrêmement monochromatiques.
-

LISTE DES DOCUMENTS REMIS
AUX MEMBRES DU COMITÉ.

*Les documents précédés du signe *, déjà publiés par ailleurs,
n'ont pas été reproduits dans les Annexes.*

Rapport sur la définition du mètre, par R. H. FIELD (Annexe M 1, p. M 49).

Lettre de J. CABANNES (Annexe M 2, p. M 54).

Extrait d'une lettre de B. EDLÉN (Annexe M 3, p. M 56).

Remarques sur le programme de travail du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre, par J. STULLA-GÜTZ (Annexe M 4, p. M 57).

Notes présentées par Y. VÄISÄLÄ (Annexe M 5, p. M 60).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Allemagne).

Considérations sur le changement de la définition du mètre, par E. ENGELHARD (Annexe M 6, p. M 64).

National Research Council (Canada).

Considérations sur la tâche du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre, par K. M. BAIRD (Annexe M 7, p. M 73).

Propositions soumises à l'attention du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre, par K. M. BAIRD (Annexe M 8, p. M 76).

National Bureau of Standards (États-Unis d'Amérique).

Questions suggérées pour être inscrites à l'Ordre du Jour du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (Annexe M 9, p. M 79).

- * Résumé historique de la question d'une nouvelle définition du mètre (publié dans *Procès-Verbaux du Comité International des Poids et Mesures*, 1952, 2^e Série, t. XXIII-A, p. 136).

National Physical Laboratory (Grande-Bretagne).

- Questions suggérées pour la discussion par le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (Annexe M 10, p. M 81).

**Central Inspection Institute
of Weights and Measures (Japon).**

- Sur la définition du mètre par une longueur d'onde lumineuse (Annexe M 11, p. M 84).

Comité des Mesures et Instruments de Mesure (U. R. S. S.).

- * Propositions concernant le passage à la définition du mètre en longueurs d'onde lumineuse (publié dans *Procès-Verbaux du Comité International des Poids et Mesures*, 1952, 2^e Série, t. XXIII-A, p. 133).

Propositions soumises au Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (Annexe M 12, p. M 86).

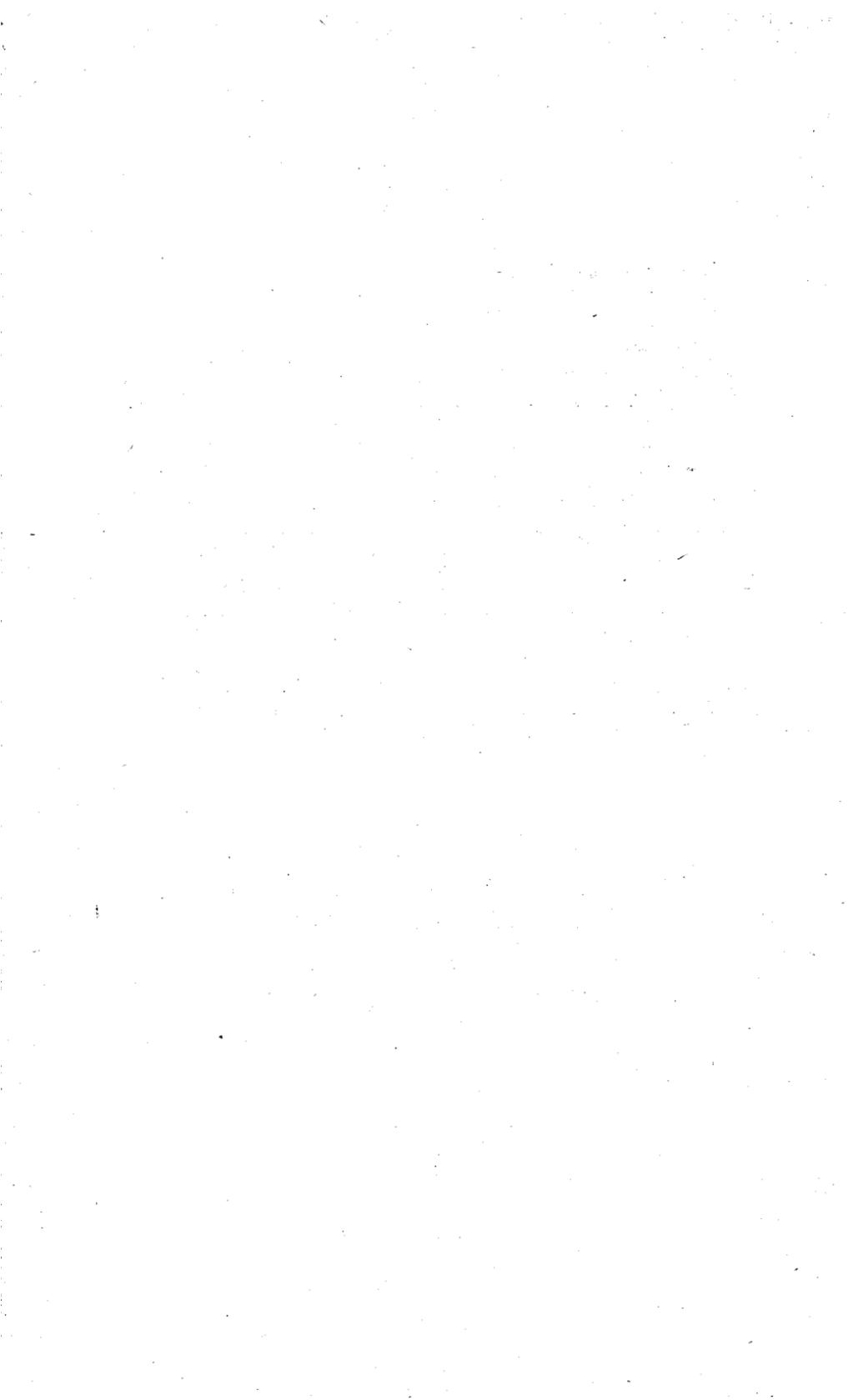
- De la possibilité d'utiliser la radiation des isotopes stables pairs du cadmium pour la représentation de l'unité de longueur, par N. R. BATARCHOUKOVA, A. I. KARTACHEV et M. F. ROMANOVA (Annexe M 13, p. M 88).

Union Internationale de Physique Pure et Appliquée.

- * Au sujet du changement envisagé dans la définition du mètre, par A. PÉRARD (publié dans *Comptes rendus Acad. Sciences*, 1953, 237, p. 284).
- * Sur les facilités respectives de production et d'utilisation des deux étalons envisagés pour la définition du mètre. Conclusion générale, par A. PÉRARD (publié dans *Comptes rendus Acad. Sciences*, 1953, 237, p. 364).
- * Les idées actuelles sur la définition de l'unité de longueur, par A. PÉRARD (publié dans *La Création du Bureau International des Poids et Mesures et son Œuvre*, Gauthier-Villars, Paris, 1927, p. 259-292).

Bureau International des Poids et Mesures.

- * La définition du mètre doit-elle être changée?, par Ch. VOLET (publié dans *Procès-Verbaux du Comité International des Poids et Mesures*, 1952, 2^e Série, t. XXIII-A, p. 142).
 - * Le mètre sera-t-il remplacé par une longueur d'onde lumineuse?, par J. TERRIEN (publié dans *La Revue Française de l'Élite Européenne*, 1952, N^o 41, p. 21).
 - * La conservation des unités du Système Métrique, par Ch. VOLET (publié dans *Nuovo Cimento*, 1951, Série IX, Vol. VIII, Suppl. p. 27).
- Étude d'un étalon en quartz de 100 mm, témoin de l'unité métrique internationale, par J. TERRIEN (Annexe M 14, p. M 95).
- Principe d'une méthode pour comparer un Mètre à traits à une longueur d'onde, par J. TERRIEN (Annexe M 15, p. M 97).
- Résultats des intercomparaisons des Mètres N^{os} 13, 13 C, 19, 26 et T 4, en 1939-1944 et en 1953, par Ch. VOLET (Annexe M 16, p. M 100).
- Microphotographies des traits du Prototype international **M** (voir p. M 13), du Mètre étalon N^o T 2, du Mètre prototype turc N^o 21 C (voir p. M 14).
-



PROCÈS-VERBAL

DE LA PREMIÈRE SÉANCE,

TENUE AU BUREAU INTERNATIONAL.

Mardi 15 septembre 1953.

PRÉSIDENCE DE M. R. H. FIELD

La séance est ouverte à 15^h5^m.

Sont présents : M. CASSINIS, Secrétaire du Comité International des Poids et Mesures. MM. BAIRD, BARRELL, BELLIER, CABANNES, CRITTENDEN, EDLÉN, ENGELHARD, JUDINE, KARTACHEV, PÉRARD, PERUCCA, STULLA-GÖTZ, TAMANO, VOLET, Membres du Comité Consultatif.

Absents : MM. TARDI et VÄISÄLÄ.

Invités : MM. TERRIEN et BONHOURE.

M. le PRÉSIDENT souhaite la bienvenue aux délégués, puis il donne la parole à M. BARRELL qui transmet de la part de M. SEARS, Président du Comité International des Poids et Mesures, les meilleurs souhaits pour les travaux du Comité Consultatif.

M. le PRÉSIDENT propose de nommer comme Rapporteur M. PERUCCA, et comme Secrétaire M. TERRIEN. Ces désignations sont approuvées. MM. PERUCCA et TERRIEN remercient le Comité.

M. le PRÉSIDENT rappelle les circonstances qui ont conduit à créer ce Comité Consultatif, dont il définit la mission.

Depuis longtemps la question de la définition du mètre en fonction d'une longueur d'onde a fait l'objet des préoccupations du Comité International et de la Conférence Générale des Poids et Mesures, mais ce n'est qu'en 1952 qu'elle a paru suffisamment étudiée pour qu'un Comité Consultatif soit spécialement créé en vue d'en examiner tous les aspects. La correspondance qui a été échangée avant cette réunion a montré que ces aspects étaient très divers. Aussi a-t-il paru bon de séparer l'Ordre du Jour en deux parties, afin de ne pas laisser la discussion s'attarder sur des détails qui ne sont pas essentiels.

M. le PRÉSIDENT demande à M. VOLET d'introduire la discussion en donnant quelques renseignements sur le Mètre.

M. VOLET fait un exposé qui peut être résumé comme suit :

« Dans le tribunal que nous formons et qui doit décider si le prototype en platine iridié est digne de continuer son rôle d'étalon primaire, je me propose de tenir le rôle d'avocat de l'accusé. Non pas parce que je crois que ce dernier est parfait, mais parce qu'on a quelquefois apporté, dans l'instruction du procès, des arguments sans fondement. On a trop souvent ignoré, ou oublié, les progrès qui ont été faits dans la réalisation des étalons à traits et dans les méthodes et instruments propres à les utiliser. On est arrivé ainsi à comparer la technique la plus moderne des mesures interférométriques avec la technique des mesures à traits telle qu'elle était

il y a un demi-siècle, ce qui manque évidemment d'objectivité.

« Notre étalon fondamental pour les longueurs a un grave défaut, que le Bureau International connaît mieux que quiconque et qu'il ne cherche pas à dissimuler : les irrégularités de ses traits ne permettent plus d'atteindre la précision que l'on exige actuellement dans les mesures. On s'est contenté jusqu'à maintenant de constater que le Mètre international était parmi les meilleurs des 30 Mètres

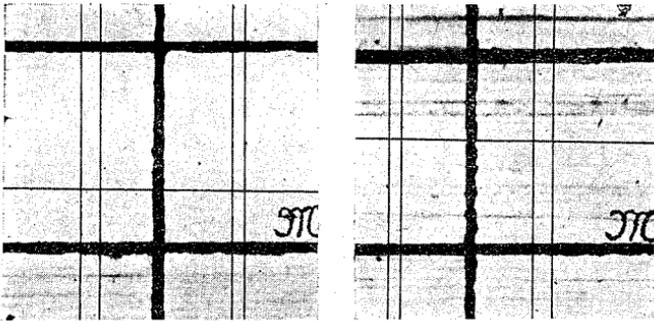


Fig. 1. — Microphotographies des traits du Prototype international M. Grossissement $\times 130$. Type de traits insuffisamment ébarbés.

qui ont été distribués au Bureau International et aux Etats en 1889. Cela ne suffit plus. L'examen des microphotographies des traits de M, présentées ici pour la première fois (*fig. 1*), montre d'une manière évidente que la précision de 1 à 2 dixièmes de micron qui est obtenue dans les mesures avec cet étalon, ne saurait être dépassée. Cette limite n'est d'ailleurs effectivement atteinte qu'à la faveur de spécifications détaillées sur la manière de pointer les traits.

« A titre comparatif, la figure 2 montre des traits gravés selon la technique moderne. Des Mètres ainsi

tracés sont définis à quelques centièmes de micron près (voir Annexe M 16, p. M 100).

« Ce fait, à lui seul, exige que l'on reconsidère la question de la conservation de l'unité de longueur. Il semble anormal que des copies soient meilleures que leur modèle. Cela serait toutefois acceptable, à mon avis, si l'on convenait de ne plus recourir à ce modèle.

« Si la spectroscopie n'existait pas, j'aurais ainsi proposé que le mètre fût conservé par un groupe de nouveaux

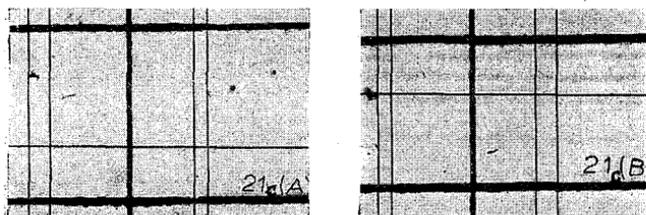


Fig. 2. — Microphotographies des traits du Mètre N° 21 C appartenant à la Turquie. Grossissement $\times 130$. Traits modernes ébarbés normalement.

étalons dont les équations relatives, et par rapport à **M**, auraient été déterminées avec le plus grand soin et une fois pour toutes. On aurait pu de la sorte ouvrir la voie à de nouveaux progrès, tout en conservant la même définition du mètre. Ce dernier point n'est pas sans intérêt. On pourrait en effet regretter qu'une unité aussi familière que le mètre ait une définition qui ne soit comprise que par un petit groupe d'initiés.

« Mais le problème se pose différemment aujourd'hui. La spectroscopie elle-même a fait des progrès et ne peut plus se contenter de la longueur d'onde de la radiation rouge du cadmium qui lui sert d'étalon fondamental. Les spectroscopistes aussi sont amenés à mesurer de nouvelles

longueurs d'onde qui sont mieux définies que celle qui leur sert de référence depuis 1907. Ils proposent en conséquence que l'on choisisse une autre longueur d'onde étalon et que celle-ci soit déclarée fondamentale pour toutes les mesures de longueur.

« Le Comité Consultatif aura à choisir entre cette solution, qui satisfait le désir qu'on a toujours eu de fonder les unités principales sur des grandeurs naturelles, et la solution dont je viens de parler, qui assure la pérennité de la définition du mètre tout en présentant des avantages pratiques certains. Je pense en particulier, et quoi qu'on ait pu dire, que pour le métrologiste qui a besoin d'une mesure à traits, il est plus facile, et peut-être plus sûr, de faire vérifier son étalon à Sèvres que d'équiper le laboratoire nécessaire à l'exécution du passage entre la longueur d'onde et la mesure à traits.

« Conserver le mètre au moyen de copies plus parfaites me paraîtrait aussi réalisable que de continuer à rapporter les longitudes terrestres au méridien de Greenwich, alors même que cet Observatoire n'existerait plus. Il suffit de connaître, une fois pour toutes, l'écart entre la nouvelle et l'ancienne référence.

« Quoique je ne me fasse pas d'illusion sur le verdict que rendra notre tribunal, je voudrais encore insister sur le caractère qui m'inquiète le plus dans l'emploi des longueurs d'onde : les interférences par lesquelles elles se manifestent à nous, forment une échelle extrêmement nette sur les petites distances, puis de plus en plus floue lorsque la distance mesurée augmente. Ce caractère évanescant ne plaide certes pas en faveur d'une mesure qui doit être déclarée fondamentale. On objectera sans doute que l'on touche là aux limites extrêmes de la précision. Je le concède volontiers, tout en demandant sur cette question un supplément d'information. Jusqu'à

quel point la structure des raies proposées est-elle symétrique? Ou : jusqu'à quel point l'ordre d'interférence est-il rigoureusement proportionnel à la longueur mesurée?

« Je voudrais aussi, avant qu'une décision ne soit prise, que l'on étudiat les possibilités nouvelles que nous offre, dans le domaine des mesures à traits, le microscope photoélectrique récemment créé par la Société Genevoise.

« Il est possible, après ces examens, que l'on reconnaisse aux mesures interférentielles une exactitude un peu supérieure à celle des mesures à traits. Dans ce cas, comme avocat de **M**, je plaiderais encore qu'il est nécessaire de bien examiner si le changement qu'on propose n'est pas hors de proportion eu égard au petit bénéfice qu'on pourrait en tirer. Ne serait-il pas plus sage de garder nos méthodes actuelles de conservation de l'unité jusqu'à ce qu'elles puissent être remplacées par d'autres ayant une supériorité plus nettement marquée? »

En réponse à l'une des objections de M. VOLET, M. ENGELHARD admet qu'une définition de l'unité fondamentale de longueur par des termes spectraux est abstraite, mais elle seule répond au désir de définir le mètre par une constante naturelle.

Au cours d'un échange de vues sur la précision des mesures interférométriques de longueur, sur la symétrie des raies et la proportionnalité de l'ordre d'interférence à la différence de marche, il est suggéré qu'une partie du désaccord présenté par les différentes déterminations du rapport du mètre à la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium, pourrait provenir des mesures sur les Mètres à traits, les comparateurs à microscopes réversibles n'ayant été introduits que plus tard, et dans bien peu de laboratoires.

M. STULLA-GÖTZ soutient la procédure qu'il a proposée

(Annexe M 4, p. M 57), impliquant de nouvelles comparaisons du mètre à une longueur d'onde. M. ENGELHARD pense que ce serait là un grand travail pour retrouver un résultat déjà suffisamment connu.

Cependant, M. VOLET insiste sur l'intérêt qu'il y aurait à comparer au Bureau International des règles à traits dont la longueur aurait été déterminée, uniquement par des longueurs d'onde, dans quatre ou cinq laboratoires bien équipés.

M. BARRELL fait observer qu'il ne suffit pas qu'une nouvelle définition du mètre conserve la longueur de ce dernier; elle doit aussi préserver la longueur admise pour l'onde de la raie rouge du cadmium.

M. PÉRARD souligne l'importance de cette condition, qui sauvegarde toutes les tables de longueurs d'onde.

M. PERUCCA pose le problème en ces termes : nous pouvons, comme l'a suggéré M. VOLET, améliorer nos étalons à traits; nous pouvons aussi adopter un étalon basé sur une longueur d'onde. Il faut choisir la solution qui aurait le plus d'avantages. Mais nous ignorons encore quelle est la précision optimum des étalons à traits d'aujourd'hui.

M. VOLET ne s'opposera pas à l'adoption d'un étalon optique plus précis; mais ce dernier est bien abstrait; du point de vue philosophique, il est le meilleur; l'est-il des points de vue pédagogique et pratique? N'aurons-nous pas, comme en électricité, une unité de longueur internationale moyenne plus ou moins bien acceptée par les grands Laboratoires? Ou, ne risque-t-on pas de créer une situation analogue à celle qui existe en thermométrie? L'échelle thermodynamique des températures

satisfait notre désir d'absolu, elle est sans doute parfaite... mais pratiquement inutilisable.

M. CRITTENDEN objecte que les longueurs d'onde sont des étalons non pas abstraits, mais pratiques, utilisés journallement dans l'industrie.

M. BAIRD rappelle que l'on recherche un étalon non seulement précis, mais invariable.

M. VOLET signale que l'on peut s'assurer pratiquement de la stabilité des étalons, en employant des substances différentes, la silice par exemple, comme M. VÄISÄLÄ l'a fait; mais il reconnaît qu'en s'affranchissant de la matière, on est sans doute mieux garanti contre une variation séculaire.

M. CRITTENDEN pense, en conclusion, que l'on peut admettre que le moment n'est pas encore venu de formuler une nouvelle définition du mètre basée sur une longueur d'onde lumineuse et que des études sont encore nécessaires, mais que le Comité doit maintenant travailler pour atteindre ce but en discutant les autres questions de l'Ordre du Jour.

M. PÉRARD suggère de prendre une position nuancée; on peut « envisager » une nouvelle définition, ce qui implique qu'elle sera examinée avec une certaine faveur.

M. PERUCCA propose que l'on dise pourquoi l'on envisage un changement : c'est pour obtenir une meilleure précision.

M. le PRÉSIDENT constate un accord unanime de principe sur le point A-1 de l'Ordre du Jour et il renvoie à la prochaine séance la rédaction d'une Proposition à présenter au Comité International.

M. JUDINE déclare que dans plusieurs laboratoires, en particulier en U. R. S. S., on sait déterminer, en partant d'une longueur d'onde, des étalons matériels à bouts ou à traits. Répondant à plusieurs questions, il précise que la mesure d'étalons à bouts d'un mètre est chose faite; la mesure d'étalons à traits est en cours. On a expérimenté d'une part les isotopes du krypton, qui ont donné lieu à certaines divergences, d'autre part des raies du mercure naturel « monochromatisées », et des isotopes du cadmium. La préférence doit être en faveur du Cd 114, dont les raies spectrales donnent des interférences sur une différence de marche de 250 à 300 mm.

M. ENGELHARD demande s'il pourrait obtenir des lampes à Cd 114 en échange de lampes à Kr 84; M. VOLET souhaiterait aussi que le Bureau International reçût des lampes à Cd 114. M. JUDINE pense que ces désirs pourront, en principe, être satisfaits.

Sur le choix d'une longueur d'onde dans le vide, plutôt que dans l'air normal, l'accord est unanime.

Comment spécifier cette longueur d'onde? M. ENGELHARD propose d'indiquer les termes spectraux, et de se référer à un atome, non perturbé par des atomes voisins. On sait calculer les très petites corrections qu'entraîne l'emploi d'une lampe particulière; rien ne s'oppose donc à ce que la construction de telles lampes évolue.

M. PÉRARD conserve quelque inquiétude sur la sécurité de ces corrections.

Une discussion sur la façon de maintenir en même temps la valeur actuelle du mètre et celle de la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium fait apparaître que l'on peut, pour passer du mètre actuel à la longueur d'onde que l'on choisira comme étalon, se fonder sur la relation

admise entre le mètre et la longueur d'onde de la radiation rouge du cadmium, sans sortir du domaine d'incertitude du prototype **M**. Ce passage fait, cette longueur d'onde ne jouera plus aucun rôle particulier, et l'unité Ångström n'aura plus de raison d'être.

M. PÉRARD rappelle qu'il faudra aussi passer de l'air normal au vide.

D'après M. BARRELL, l'incertitude sur l'indice de l'air est inférieure à l'incertitude sur la valeur de **M**, et l'on pourrait adopter, pour le passage à la nouvelle définition, la formule d'Edlén sanctionnée à Rome en 1952 par la Commission Mixte de Spectroscopie. Les Membres du Comité Consultatif acceptent cette proposition, tout en reconnaissant l'utilité des nouvelles déterminations d'indice proposées par M. ENGELHARD.

La séance est levée à 18^h 15^m.

PROCÈS-VERBAL

DE LA DEUXIÈME SÉANCE,

TENUE AU BUREAU INTERNATIONAL.

Jeudi 17 septembre 1953.

PRÉSIDENTENCE DE M. R. H. FIELD

La séance est ouverte à 10^h 5^m.

Sont présents : MM. BAIRD, BARRELL, BELLIER, CABANNES, CASSINIS, CRITTENDEN, EDLÉN, ENGELHARD, JUDINE, KARTACHEV, PÉRARD, PERUCCA, STULLA-GÖTZ, TAMANO, VOLET.

Excusés : MM. TARDI, VÄISÄLÄ.

Invités : MM. TERRIEN et BONHOURE.

M. le PRÉSIDENT annonce qu'il a reçu une lettre de M. VÄISÄLÄ, qui exprime tous ses regrets de ne pouvoir assister à la session du Comité et qui rappelle qu'il a exposé son point de vue dans une Note (Annexe M 5, p. M 60) précisant qu'il considère comme fondamental que la longueur d'onde de la radiation rouge du cadmium dans le vide soit sanctionnée.

D'autre part, M. TARDI, dont la santé nécessite encore quelques ménagements, a signalé qu'il ne pourrait malheureusement pas assister à nos discussions.

M. TERRIEN donne lecture du procès-verbal provisoire de la séance du 15 septembre. Celui-ci est adopté avec quelques modifications demandées par MM. CRITTENDEN, ENGELHARD et PERUCCA.

M. VOLET annonce qu'à la suite de conversations qui ont eu lieu entre délégués depuis la première séance, trois propositions ont été rédigées, dont le texte est soumis aux délibérations du Comité.

La Proposition I, qui exprime l'avis que le moment est venu d'envisager une nouvelle définition du mètre basée sur une longueur d'onde lumineuse, donne lieu à un certain nombre d'observations. MM. BARRELL et ENGELHARD seraient d'avis de mentionner que la nouvelle définition doit être basée sur une constante naturelle, mais M. PERUCCA craint que cette addition ne laisse la porte ouverte à d'autres constantes naturelles. La Proposition I est finalement adoptée à l'unanimité sous la forme suivante :

PROPOSITION I.

Le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre, ayant entendu les rapports du Directeur du Bureau International des Poids et Mesures :

1° sur l'exactitude avec laquelle l'unité fondamentale de longueur du Système Métrique est actuellement conservée au moyen de l'étalon en platine iridié et

2° sur la précision que permettent d'atteindre aujourd'hui les mesures à traits,

estime que le moment est venu d'envisager favorablement une nouvelle définition du mètre basée sur la longueur d'onde d'une radiation lumineuse, dans le but de conférer à l'unité fondamentale de longueur, à la fois une précision plus élevée et un caractère incontestable d'universalité et d'indestructibilité.

M. VOLET lit ensuite le projet de la Proposition II, destinée à fixer les conditions dans lesquelles la future longueur d'onde lumineuse fondamentale devra être définie.

Le texte proposé donne lieu à une longue discussion, à laquelle participent la plupart des Membres présents. Elle a eu principalement pour objet les points suivants :

opportunité de mentionner que la future longueur d'onde fondamentale sera une constante naturelle, ou atomique ;

nécessité de préciser qu'elle doit être *aussi monochromatique que possible* alors que la qualification de *monochromatique* peut suffire ;

façon d'exprimer que cette longueur d'onde ne doit pas être affectée par l'effet Doppler-Fizeau ;

choix d'un terme équivalent à *influence perturbatrice*, par exemple *action*, ou *champ extérieur*, etc.

L'accord se réalise finalement sur le texte suivant, adopté à l'unanimité :

PROPOSITION II.

Le Comité Consultatif considère que le mètre devrait être défini, lorsque le moment sera venu, par la longueur d'onde d'une radiation lumineuse se propageant dans le vide, le radiateur et l'observateur étant en repos relatif.

Cette radiation serait spécifiée par deux termes spectraux d'un atome dont le spectre soit dépourvu de structure hyperfine, et qui ne soit soumis à aucune influence perturbatrice.

Le Comité Consultatif étudie ensuite le projet de Proposition III, relative à la prise en considération, comme intermédiaire pour le passage à la nouvelle définition envisagée, de la valeur admise actuellement pour la longueur d'onde de la radiation rouge du cadmium.

M. ENGELHARD fait observer que la Septième Conférence Générale des Poids et Mesures a fixé deux valeurs sur ce point : celle de la longueur d'onde elle-même, et celle de son inverse, c'est-à-dire le nombre de longueurs d'onde contenues dans le mètre, et que ces deux valeurs présentent un léger écart.

M. PÉRARD estime que la valeur fondamentale est celle de la longueur d'onde, qui est donnée en premier. Le nombre de longueurs d'onde contenues dans un mètre n'est donné que comme conséquence de ce qui précède.

De la discussion qui suit, il ressort que le Comité est unanime pour reconnaître que le passage à la nouvelle définition du mètre doit conserver la grandeur de cette unité dans les limites de précision où celle-ci est actuellement définie.

Après avoir envisagé différentes rédactions, il est décidé de renvoyer à l'après-midi l'adoption du texte définitif de la Proposition III.

La séance est levée à 12^h 30^m.

PROCÈS-VERBAL

DE LA TROISIÈME SÉANCE,

TENUE AU BUREAU INTERNATIONAL.

Judi 17 septembre 1953.

PRÉSIDENTE DE M. R. H. FIELD

La séance est ouverte à 15^h 35^m.

Sont présents : MM. BAIRD, BARRELL, BELLIER, CASSINIS, CRITTENDEN, EDLÉN, ENGELHARD, JUDINE, KARTACHEV, PÉRARD, PERUCCA, STULLA-GÖTZ, TAMANO, VOLET.

Absent : M. CABANNES.

Invités : MM. TERRIEN et BONHOURE.

M. VOLET relit le projet de Proposition III.

M. PÉRARD fait observer qu'il ne faut pas obliger les expérimentateurs à prendre comme point de départ la raie du cadmium dans le vide pour déterminer les autres radiations susceptibles d'être utilisées, car on peut faire des comparaisons dans l'air beaucoup plus facilement que dans le vide; il suffit ensuite de réduire au vide.

MM. EDLÉN et ENGELHARD appuient cette observation et ne désirent pas que l'on spécifie la valeur de la longueur d'onde dans le vide de la radiation rouge du cadmium.

M. BARRELL pense toutefois qu'il est préférable d'effectuer les comparaisons de longueurs d'onde dans le vide plutôt que dans l'air, car il est ainsi plus facile de réaliser des conditions identiques dans les différents Laboratoires.

M. BARRELL signale que la longueur d'onde de la radiation rouge du cadmium dans le vide, calculée conformément aux recommandations de la Proposition III, est $0,644\ 024\ 91 \cdot 10^{-6}$ m.

M. VOLET fait remarquer que parmi les meilleures formules de dispersion actuellement connues, celle d'Edlén conduit, dans le cas qui nous intéresse, c'est-à-dire celui de la raie rouge du cadmium, au résultat le plus écarté. Ne vaudrait-il pas mieux choisir pour la réduction au vide une valeur moyenne ? ⁽¹⁾

M. BAIRD estime que la seule chose à spécifier est la longueur d'onde dans le vide de la radiation rouge du cadmium.

De la discussion de ces divers points de vue se dégagent les idées principales suivantes :

1° Il faut conserver la longueur d'onde de la radiation rouge du cadmium dans l'air normal comme base de départ pour déterminer le nombre de longueurs d'onde de la nouvelle radiation dans le vide qui sont contenues dans un mètre.

2° Pour comparer la nouvelle radiation, définie dans le vide, à l'ancienne, définie dans l'air, le choix de la

Note ajoutée en cours d'impression :

(1) M. EDLÉN rappelle les arguments qu'il a exposés dans « The dispersion of standard air » (*J. Opt. Soc. Amer.*, t. 43, 1953, p. 339) et qui tendent à démontrer qu'un indice faible a plus de chances d'être exact qu'un indice élevé, lequel peut avoir été faussé par la présence d'hydrocarbures lourds dans l'air expérimenté.

formule de dispersion importe peu car on reste dans les limites d'incertitude de la définition actuelle du mètre (1).

3° Il n'y a pas d'inconvénient à laisser libre le choix des radiations pour lesquelles on effectuera la réduction de l'air normal au vide.

Après plusieurs remarques rédactionnelles, la Proposition III est adoptée à l'unanimité sous la forme suivante :

PROPOSITION III.

En vue d'assurer à l'unité de longueur une continuité aussi parfaite que possible lors du passage à la définition envisagée, il est recommandé d'établir cette dernière en se servant comme intermédiaire de la valeur $0,643\ 846\ 96 \cdot 10^{-6}$ m pour la longueur d'onde de la radiation rouge du cadmium telle qu'elle a été spécifiée par la Septième Conférence Générale des Poids et Mesures.

Pour ce passage, la réduction au vide des longueurs d'onde mesurées dans l'air devrait être effectuée par la formule de dispersion pour l'air normal adoptée à Rome en 1952 par la Commission Mixte de Spectroscopie.

M. le PRÉSIDENT communique qu'un texte a été préparé concernant le choix de la radiation étalon.

M. VOLET donne lecture de ce texte, qui suscite diverses observations de MM. ENGELHARD, PÉRARD et PERUCCA sur les qualités qu'il convient de spécifier expressément et sur leur importance relative.

Note ajoutée en cours d'impression :

(1) M. EDLÉN tient à signaler que, pour la spectroscopie, le choix d'une formule de dispersion qui soit la meilleure possible est important, car il s'agit de rattacher avec une très grande précision l'étalon actuel pour la spectroscopie à l'étalon futur qui sera défini dans le vide.

M. JUDINE tient à souligner encore l'urgence des travaux qui restent à accomplir dans les laboratoires. Un texte est finalement adopté à l'unanimité sous la forme suivante :

PROPOSITION IV.

Pour ce qui concerne le choix de la radiation étalon qui présente les qualités métrologiques les meilleures (finesse, symétrie et autres), le Comité Consultatif ne croit pas encore être suffisamment documenté pour émettre une proposition ferme. Il demande que les grands Laboratoires et le Bureau International poursuivent aussi activement que possible leurs travaux dans ce sens.

A propos du point B-7 de l'Ordre du Jour, concernant le rôle du Bureau International dans le domaine des longueurs et son équipement, M. VOLET signale que l'opinion a été émise que, si la définition du mètre en longueur d'onde était adoptée, le rôle du Bureau International serait quelque peu diminué, en particulier aux yeux du public. Il demande quel est le sentiment du Comité Consultatif sur cette question.

Tous les Membres du Comité Consultatif protestent contre une telle conception, c'est le contraire qui doit se produire.

M. VOLET confirme qu'il serait intéressant d'effectuer dans les Laboratoires nationaux un passage entre les longueurs d'onde et les longueurs à traits, ces dernières devant conserver une grande importance, à la fois scientifique et industrielle. Il faudra s'assurer que la nouvelle définition n'apporte pas de perturbation dans la cohérence actuelle des longueurs à traits. Le Bureau International a

donc encore à jouer le rôle important de centre officiel pour la coordination de tous les travaux à effectuer dans ce domaine et pour la vérification des étalons nationaux de longueur.

M. CASSINIS soutient fortement cette opinion et insiste sur la nécessité, pour le Bureau International, d'être équipé sans retard en vue de pouvoir remplir sa tâche nouvelle.

M. CRITTENDEN souhaite que le sentiment unanime du Comité soit exprimé dans une Proposition soulignant l'importance croissante du Bureau International dans le domaine des mesures de longueur comme dans ses autres sphères d'activité.

Pour concrétiser les vues qui précèdent, M. VOLET rédige un texte qui, après des observations de MM. BAIRD, BARRELL, CASSINIS, CRITTENDEN, PÉRARD et PERUCCA, est adopté à l'unanimité sous la forme suivante :

PROPOSITION V.

Dans l'éventualité où la définition du mètre serait changée, le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre, ayant la conviction que la mission du Bureau International des Poids et Mesures doit rester fondamentale comme précédemment dans le domaine des mesures de longueur, recommande que ce dernier soit équipé des instruments les plus précis pour effectuer des mesures interférentielles dans le vide, pour réaliser dans les conditions les meilleures la liaison entre les longueurs d'onde, les étalons à traits et les étalons à bouts, et continuer à remplir ainsi l'une des missions essentielles que lui a confiées la Convention du Mètre.

M. VOLET entretient ensuite le Comité Consultatif de la

question posée par M. le Président dans son *Rapport sur la définition du mètre* (Annexe M1, p. M 49) au sujet de la date à laquelle la nouvelle définition du mètre par une longueur d'onde pourra être sanctionnée officiellement. Il est douteux que les travaux préparatoires à la fixation de cette définition soient terminés l'année prochaine et que, par conséquent, la Conférence Générale des Poids et Mesures de 1954 puisse prendre une décision. Pour ne pas repousser la solution de cette question à la Conférence de 1960, on a proposé que le Comité International demande à la prochaine Conférence de lui donner les pouvoirs nécessaires pour prendre lui-même les décisions envisagées, décisions qui seraient sanctionnées ultérieurement par la Conférence de 1960.

M. PÉRARD fait remarquer que ce ne serait pas une innovation. On a déjà opéré de cette façon au moment du changement des unités électriques en 1948. On éviterait ainsi de reculer de sept années une décision qui peut être prise dans un délai beaucoup plus rapproché.

M. VOLET présente quelques objections à cette proposition. Il rappelle qu'en 1948 il ne s'agissait pas d'un simple changement de définition, mais du remplacement d'unités électriques par d'autres. Il était donc nécessaire qu'une date précise fût rapidement fixée pour permettre une mutation simultanée dans tous les Pays. Dans le cas du mètre, au contraire, tous nos efforts tendent à rendre le changement de définition pratiquement insensible. Pour M. VOLET ce changement a un caractère symbolique très important et il estime que ce n'est pas trop d'en réserver la décision à une Conférence Générale.

M. PERUGA pense qu'il suffirait d'attirer l'attention du

Comité International sur cette question; il jugera lui-même ce qu'il doit faire.

MM. CASSINIS, CRITTENDEN, EDLÉN et JUDINE se déclarent favorables à une procédure d'urgence.

Après quelques observations de forme, le texte suivant est adopté à l'unanimité :

PROPOSITION VI.

Le Comité Consultatif recommande que le Comité International demande à la Conférence Générale, qui doit se tenir en 1954, de lui conférer les pouvoirs nécessaires pour décider lui-même des modalités et de la date du changement sans avoir à attendre la Conférence Générale suivante.

Un certain nombre d'autres questions prévues à l'Ordre du Jour, qui paraissent moins importantes et pas assez mûres pour faire l'objet d'une discussion utile, sont renvoyées à la prochaine session du Comité Consultatif.

Les textes des Propositions adoptées par le Comité sont remis à chacun des Membres. M. VOLET signale qu'ils sont susceptibles de recevoir encore quelques légères modifications de forme. D'autre part, si certains délégués, après réflexion, croyaient devoir exprimer une observation au sujet de ces textes, ils sont priés d'en faire part au Bureau International, qui transmettra au Comité International en même temps que le Rapport sur les présentes délibérations.

M. PÉRARD, au nom des Membres, remercie M. le PRÉSIDENT de l'autorité et de la bonne grâce avec lesquelles il a conduit les débats.

M. le PRÉSIDENT remercie à son tour les Membres du Comité de leur empressement à rechercher un accord unanime et se félicite avec eux des résultats acquis.

La séance est levée à 17^h 55^m.



PREMIER RAPPORT
DU
COMITÉ CONSULTATIF
POUR LA DÉFINITION DU MÈTRE
AU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Par le Professeur E. PERUCCA, Rapporteur

Le Comité a tenu trois séances, les 15 et 17 septembre 1953, au Bureau International des Poids et Mesures, sous la présidence de M. R. H. FIELD.

Étaient présents à ces réunions : MM. BAIRD, BARRELL, BELLIER, CABANNES, CRITTENDEN, EDLÉN, ENGELHARD, JUDINE, KARTACHEV, PÉRARD, PERUCCA, STULLA-GÖTZ, TAMANO, VOLET, Membres du Comité Consultatif; MM. TERRIEN et BONHOURE, invités.

M. G. CASSINIS, Secrétaire du Comité International des Poids et Mesures, a pris part à toutes les séances du Comité.

Sont excusés : MM. TARDI et VÄISÄLÄ.

Les travaux de la session, préparés avec les soins bien connus du Bureau International des Poids et Mesures et de son Directeur, ont eu pour base de nombreux documents présentés à cette occasion.

M. FIELD, Président, a tout d'abord fixé en termes précis la tâche du nouveau Comité Consultatif.

1° Dès le début, décider s'il existe des raisons techniquement bien établies pour remplacer le Mètre prototype actuel, **M**, par un nouvel étalon, probablement une longueur d'onde lumineuse. Avant de prendre une décision, chaque Membre du Comité Consultatif pourrait communiquer quels renseignements expérimentaux additionnels sont indispensables.

2° Examiner les effets d'un tel changement, spécialement pour la science et pour l'industrie.

3° Si, après un examen très approfondi, on a pris la décision d'aviser le Comité International en recommandant la substitution d'une longueur d'onde à l'étalon matériel actuel, le Comité Consultatif devra examiner avec soin le travail déjà effectué dans les laboratoires équipés d'une façon appropriée. Après cet examen, il faudra décider si les faits établis sont suffisants pour permettre de rédiger une définition pour le mètre qui en autorise la reproduction avec un haut degré d'exactitude dans tout laboratoire bien équipé. Une telle définition devra servir sans aucune modification importante pour 50 ans; en même temps, elle devra satisfaire tous les besoins de la science et de l'industrie.

4° Si, selon l'avis du Comité Consultatif, les données du problème ne sont pas suffisantes, on pourra organiser les recherches nécessaires dans les laboratoires les plus appropriés (les recherches importantes pourront avoir lieu dans deux ou plusieurs laboratoires indépendants).

5° Dans ce cas, il faut considérer la possibilité de recommander au Comité International qu'il demande à la Dixième Conférence Générale, prévue pour 1954, les

pouvoirs nécessaires pour sanctionner la nouvelle définition aussitôt qu'elle pourra être formulée d'une façon satisfaisante. (Si ce procédé n'est pas suivi, il ne sera pas possible de sanctionner une nouvelle définition avant 1960, à la Onzième Conférence Générale.)

Après que M. VOLET, Directeur du Bureau International, eut fait un exposé-introduction extrêmement substantiel et objectif de la situation actuelle, le Comité Consultatif examina le premier point de son programme qui peut s'énoncer comme suit : actuellement il règne l'ordre de préséance suivant : étalon à traits → étalon à bouts → longueur d'onde. La question est maintenant de savoir si l'ordre de préséance d'aujourd'hui doit être maintenu, ou s'il doit être inversé : longueur d'onde → étalon à bouts → étalon à traits.

La définition actuelle du mètre a été sanctionnée en 1889 par la Première Conférence Générale des Poids et Mesures, qui a adopté un prototype à traits en platine iridié constituant un étalon arbitraire, tandis que le mètre était né comme étalon naturel.

Le niveau de la science physique et de la technique métrologique d'alors avait conduit à reconnaître les graves difficultés que l'on rencontrait dans le choix d'un étalon naturel réalisable avec une précision suffisante.

Bien que J. BABINET, en 1827, eût déjà proposé l'étalon défini par une longueur d'onde, à une époque où l'on ne connaissait encore que la raie du sodium, qui était un doublet; bien que J. MAXWELL, en 1870, eût exposé les avantages de principe d'un tel étalon, c'est seulement après 1889 que les progrès de la technique métrologique permirent les expériences de MICHELSON et BENOÎT, effectuées en 1892-1893 au Bureau International des Poids et

Mesures et qui fixèrent les premières relations précises entre le mètre et les longueurs d'onde de certaines raies dites « monochromatiques » du cadmium naturel.

A la suite de ces travaux on peut considérer comme définitivement posée la question d'une nouvelle définition du mètre qui serait devenu, comme unité primaire, une longueur à bouts définie et réalisée par un certain nombre de longueurs d'onde d'une radiation lumineuse suffisamment monochromatique.

Le mètre, avec son caractère d'étalon naturel et sa réalisation primaire « optique » ⁽¹⁾, nous donnerait un étalon à bouts à partir duquel seraient mesurés les étalons à traits que la pratique nous montre encore bien nécessaires dans certaines mesures de précision très élevée.

L'étalon primaire devenant une longueur d'onde, le Mètre à traits serait déclaré étalon secondaire et sa longueur pourrait être fixée, provisoirement, à 1,000 000 00 m en accord avec les limites de précision qu'on peut fixer aujourd'hui. La situation serait analogue à celle qui existe actuellement : le Mètre en platine est l'« étalon primaire », ce qui n'a pas empêché la Conférence Générale des Poids et Mesures d'adopter en 1927, comme étalon fondamental pour les longueurs d'onde lumineuse, la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium, émise dans des conditions spécifiées, avec la valeur $643,846\ 96 \cdot 10^{-9}$ m.

Grâce à cette déclaration, toutes les mesures de longueurs d'onde de la spectroscopie, toutes les mesures de calibres à bouts plans de l'industrie, fondées sur cette

(1) Pour la brièveté je l'appellerai « mètre optique ». Dans la suite, je me permettrai aussi d'adopter le terme déjà largement employé de « mononuclide », pour remplacer l'expression « élément à isotope unique ».

longueur d'onde étalon actuellement secondaire, sont parfaitement comparables dans le monde entier. Si les rôles d'étalon secondaire et d'étalon primaire venaient à être inversés, une déclaration analogue de la Conférence Générale des Poids et Mesures, fixant provisoirement la longueur du Mètre en platine iridié conservé au Pavillon de Breteuil, assurerait de la même façon à l'avenir l'uniformité des mesures à traits dans le monde, ainsi que la continuité avec toute l'exactitude désirable.

Cette « continuité », c'est-à-dire la plus grande concordance possible entre le Mètre prototype (étalon à traits) actuel et le nouvel étalon à longueur d'onde (étalon à bouts) pose en même temps le problème de la comparaison entre une longueur à traits et une longueur à bouts.

Le problème, déjà abordé par MICHELSON, a été également traité par PETERS, qui a démontré la possibilité de tracer un étalon à traits en utilisant comme référence une longueur d'onde lumineuse. Il y a déjà des laboratoires où l'on sait déterminer des étalons matériels à bouts et à traits en partant d'une longueur d'onde.

La question est encore d'un vif intérêt aujourd'hui, ainsi qu'il résulte de certains documents présentés au Comité Consultatif; toutefois, on a exprimé l'opinion que l'on ne devrait pas attacher trop d'importance aux difficultés actuelles de la comparaison des étalons à bouts aux étalons à traits ou de ces derniers à une longueur d'onde étalon. Il est presque certain qu'on surmontera ces difficultés à l'aide de nouvelles méthodes.

De tels sujets et le choix de formules pour la réduction à des conditions normales méritent certainement d'être discutés, mais sans qu'ils puissent affecter sérieusement le choix de l'étalon fondamental de longueur.

L'amélioration de la technique du traçage permet toutefois d'obtenir des traits de qualité bien supérieure à celle des traits du Mètre prototype. Dans un des documents présentés, on a pu comparer la microphotographie des traits du prototype **M**, peu « ébarbés » [largeur $8 \mu\text{m}$ ⁽²⁾], avec celle des traits modernes du Mètre 21 C (Turquie) normalement ébarbés (largeur $4 \mu\text{m}$); ces derniers permettent évidemment un repérage beaucoup plus soigné.

La précision de $0,1 \mu\text{m}$ sur la longueur d'un Mètre à traits semble désormais acquise par la technique actuelle. On reconnaît que si l'on veut augmenter cette précision, il est nécessaire d'abandonner l'étalon prototype.

Mais, de plusieurs côtés, on considère atteinte la précision relative de 10^{-8} pour le « mètre optique » et l'on a même avancé la valeur 10^{-9} .

Il est certain que si l'on acceptait comme valeur conventionnelle primaire, donc exacte, la valeur

$$\lambda_{\text{Cd rouge}} = 643,846 \text{ } 96 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

déjà sanctionnée par la Septième Conférence Générale dans les conditions spécifiées, la possibilité de reproduction d'étalons à traits pourrait atteindre une précision qui ne permettrait plus de différencier ces étalons de l'étalon actuel à traits. Toute crainte de discontinuité devrait disparaître.

Il s'ensuit que, du point de vue scientifique, le « mètre optique » mérite désormais de recevoir la préférence sur celui d'aujourd'hui. La technique de mesure par les longueurs d'onde, ou technique interférentielle, s'est

(2) Le symbole μm représente 10^{-6} m selon une règle déjà fréquemment employée.

développée à un tel point que l'on peut aujourd'hui, grâce à elle, effectuer non seulement dans les laboratoires d'État, mais aussi dans l'industrie, des mesures courantes de longueur avec une précision jusqu'ici inégalée.

Il semble impossible d'envisager, comme on l'a supposé, un retour ultérieur de la définition du mètre par une longueur d'onde à la définition par un prototype matériel.

Il va de soi qu'il sera toujours nécessaire, même en cas de prééminence de la technique interférentielle, de disposer d'étalons à traits, car toutes les mesures de longueur ne se prêtent pas à une évaluation directe par les ondes lumineuses. Ce qu'il y aurait de nouveau c'est que, dans la technique interférentielle, les étalons de longueur à bouts ou à traits pourraient en principe être contrôlés par les ondes lumineuses avec une grande exactitude et une grande rapidité à une époque quelconque et en un lieu quelconque.

Aussi longtemps que l'unité de longueur est définie par un prototype matériel, il n'existe en principe aucune garantie de son invariabilité. La preuve de variations n'est qu'une question d'exactitude de mesure. L'expérience acquise, lors de la comparaison générale des Mètres étalons avec le prototype déposé au Bureau International des Poids et Mesures, est significative (Ch.-Éd. GUILLAUME, *La Création du Bureau International des Poids et Mesures*, Paris, 1927), et montre une indiscutable stabilité du prototype, mais dans les limites de l'exactitude des mesures.

En 1927, lorsque la Septième Conférence a débattu pour la première fois la proposition de définition d'un « mètre optique », la question n'était pas encore mûre.

Nos connaissances sur la structure des raies, par exemple, n'étaient pas encore assez complètes, ni assez certaines. Il n'existait également aucune possibilité d'obtenir un mononuclide en quantité notable susceptible d'être utilisé comme source des radiations.

Mais maintenant le développement des connaissances spectroscopiques paraît en quelque sorte achevé. En outre, on sait produire en quantité suffisante les mononuclides nécessaires à l'émission d'ondes lumineuses extrêmement monochromatiques. De plus, on peut réaliser des lampes de construction simple, capables de répondre aux exigences les plus sévères et dont on a toutes raisons de croire qu'elles dureront assez longtemps.

Avec les sources de lumière récentes, il est déjà possible de mesurer directement des intervalles de 1 000 000 longueurs d'onde. On peut penser que le développement futur des sources de lumière permettra d'atteindre en une seule étape des longueurs de 1 m. Pour des intervalles plus grands, la technique interférentielle dispose du procédé d'addition qui ne diffère pas en principe de celui de la technique des mesures à traits. C'est en effet, dans le cas des mesures à traits, la capacité limitée des machines à diviser et des comparateurs employés et, dans le cas des mesures interférentielles, la limitation de la longueur de cohérence, qui rendent indispensable le procédé d'addition.

L'adoption d'une longueur d'onde comme longueur fondamentale réunit toutes les propriétés favorables qui sont liées à la notion de constante naturelle, en particulier l'invariabilité, l'indestructibilité et, avant tout, l'omniprésence. Enfin, il faut ajouter l'avantage de la division interne extraordinairement fine et exacte que l'étalon longueur d'onde fournit par surcroît.

Il y a, d'autre part, avantage à caractériser la radiation fournissant la longueur d'onde primaire par les termes spectraux de la transition correspondante.

Néanmoins, dans le cas concret d'une source déterminée, on devrait spécifier l'exactitude avec laquelle peut être reproduite la valeur idéale, conforme à la définition, de la longueur d'onde.

Avec une telle réglementation, les générations à venir pourraient toujours utiliser une source de lumière qui corresponde à l'état de la technique de leur époque. Avec le développement des sources de lumière, le mètre pourrait être reproduit avec une exactitude toujours plus grande, mais sa valeur resterait inchangée. Les limites de la reproductibilité du mètre pourraient être évaluées chaque fois avec une exactitude suffisante d'après nos connaissances physiques sur les phénomènes qui s'accomplissent dans les lampes.

Ce serait l'un des rôles importants du Bureau International, à l'avenir, de développer, d'étudier et d'expérimenter ces types de lampes.

On signale cependant encore l'opportunité d'étudier les points suivants :

— Production de mononuclides pour l'excitation de radiations spectrales extrêmement monochromatiques.

— Possibilité de nouveaux développements dans le domaine de l'émission de lumières extrêmement monochromatiques et de la réalisation des sources lumineuses.

— Possibilité de réviser, sans difficultés, chaque fois qu'on le jugera opportun, une définition du mètre fondée sur une longueur d'onde pour la rattacher à la radiation la plus fine disponible.

A ce propos, il faut remarquer que des expériences très soignées ont été effectuées sur certaines raies des mononuclides $^{198}_{80}\text{Hg}$, $^{114}_{48}\text{Cd}$, $^{84}_{34}\text{Kr}$. Mais on ne peut pas décider immédiatement quelle raie spectrale particulière sera choisie, parce que les résultats expérimentaux ne sont pas suffisants pour que l'on soit certain du choix le meilleur. Un échange de lampes entre les différents Laboratoires et le Bureau International des Poids et Mesures serait grandement souhaitable.

Il paraît clair, d'après les points précédents, que la meilleure action pour le Comité Consultatif est de recommander que certaines décisions soient sanctionnées immédiatement, laissant pour une date ultérieure le choix d'une raie particulière. Si l'on suivait cette recommandation cela aurait une grande valeur pour hâter une nouvelle définition du mètre. Ajourner ces décisions ne mènerait à rien, pour la raison qu'il existe déjà suffisamment d'éléments d'information et qu'il ne reste plus à prendre que des décisions conventionnelles.

D'autre part, on ne saurait trop mettre en valeur l'intérêt d'un accord immédiat sur tout ce qui peut favoriser une nouvelle définition du mètre, excepté le choix d'une raie particulière, car on donnerait ainsi à la recherche l'orientation nécessaire pour franchir ce dernier pas. Les savants et les Laboratoires nationaux auraient alors une base de travail pour l'obtention des résultats nécessaires à l'établissement de la nouvelle définition.

En définitive, il ne semble pas que l'on puisse affirmer que le moment soit venu de procéder à une nouvelle définition du mètre basée sur une longueur d'onde lumineuse et, bien que l'emploi des sources de radiations à isotope unique (mononuclide) représente déjà un

progrès indiscutable, il faut reconnaître la nécessité du développement de nouvelles études; l'exhortation à ce développement de la recherche est venu de plusieurs côtés, soit dans le but de choisir les sources les plus convenables, soit pour la réalisation de meilleurs étalons à traits qui, même considérés comme des étalons secondaires, auront toujours un rôle important à remplir en métrologie de précision.

En conclusion de ses longues et profondes discussions, le Comité s'est trouvé d'accord sur le fait que l'étalon défini par une longueur d'onde lumineuse, tout en ne révélant pas encore toutes les qualités requises pour permettre son adoption définitive, se présente néanmoins dans des conditions plus favorables qu'en 1948, lors de la Neuvième Conférence Générale, pour être préféré comme étalon primaire.

Il semble que le point essentiel soit le manque de données suffisantes pour justifier le choix d'une raie spectrale comme étalon primaire.

Au contraire, un certain nombre d'autres spécifications nécessaires à la définition de l'étalon par une longueur d'onde lumineuse, pourraient être établies dès à présent.

Toutes ces discussions ont abouti au vote des propositions suivantes, adoptées à l'unanimité :

PROPOSITION I.

Le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre, ayant entendu les rapports du Directeur du Bureau International des Poids et Mesures :

1° sur l'exactitude avec laquelle l'unité fondamentale de longueur du Système Métrique est actuellement conservée au moyen de l'étalon en platine iridié et

2° sur la précision que permettent d'atteindre aujourd'hui les mesures à traits,

estime que le moment est venu d'envisager favorablement une nouvelle définition du mètre basée sur la longueur d'onde d'une radiation lumineuse, dans le but de conférer à l'unité fondamentale de longueur, à la fois une précision plus élevée et un caractère incontestable d'universalité et d'indestructibilité.

PROPOSITION II.

Le Comité Consultatif considère que le mètre devrait être défini, lorsque le moment sera venu, par la longueur d'onde d'une radiation lumineuse se propageant dans le vide, le radiateur et l'observateur étant en repos relatif.

Cette radiation serait spécifiée par deux termes spectraux d'un atome dont le spectre soit dépourvu de structure hyperfine, et qui ne soit soumis à aucune influence perturbatrice.

Une longue discussion s'ensuit afin de fixer, dès à présent, le plus grand nombre de conditions assurant la meilleure définition de la raie spectrale :

— élimination des influences perturbatrices (champs électrique, magnétique, etc.);

— élimination, soit des mouvements ordonnés des centres émetteurs par rapport à l'appareil récepteur, soit de leur mouvement statistique (effet Doppler);

— élimination du renversement des raies;

— symétrie des raies;

— conservation du patrimoine des données spectroscopiques de haute précision, déjà acquis.

L'examen de la façon de maintenir, soit la valeur actuelle du mètre, soit la longueur d'onde de la raie rouge du Cd, fait apparaître que l'on peut, pour passer du mètre actuel à la longueur d'onde que l'on choisira

comme étalon, se fonder sur la relation admise entre le mètre et la longueur d'onde de la radiation rouge du Cd, sans sortir du domaine d'incertitude du prototype du mètre. Ce passage fait, la raie du Cd ne jouera plus aucun rôle particulier, et l'unité Ångström n'aura plus de raison d'être.

Il faudra aussi passer de l'air normal au vide.

On considère acquis qu'un calcul fondé sur la formule d'Edlén, sanctionnée à Rome en 1952 par la Commission Mixte de Spectroscopie pour le passage des longueurs d'onde dans l'air normal à celles dans le vide (ou vice versa), donne la précision suffisante.

On reconnaît l'avantage de spécifier la valeur de la raie étalon dans le vide. Mais :

1° *a*) Réduira-t-on au moyen de cette formule, les valeurs des longueurs d'onde dans l'air aux valeurs dans le vide, ou :

b) Basera-t-on la valeur définitive à adopter sur des mesures de longueur d'onde faites dans le vide ?

2° Est-il souhaitable :

a) D'effectuer des déterminations directes de la longueur du mètre en fonction de plusieurs longueurs d'onde, comme cela fut fait par MICHELSON, ou :

b) De retenir comme exacte la longueur du mètre en fonction de la raie rouge du Cd dans l'air

$$\lambda_{\text{Cd rouge}} = 643,846\,96 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

(le nombre de 1 553 164,13 longueurs d'onde contenues dans 1 m doit être considéré comme dérivé du précédent, donc seulement approché), et de comparer spectroscopiquement les longueurs d'onde des autres radiations

sélectionnées avec la longueur d'onde de la raie du Cd?

Ces considérations conduisirent à adopter les propositions suivantes :

PROPOSITION III.

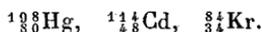
En vue d'assurer à l'unité de longueur une continuité aussi parfaite que possible lors du passage à la définition envisagée, il est recommandé d'établir cette dernière en se servant comme intermédiaire de la valeur $0,643\ 846\ 96 \cdot 10^{-6}$ m pour la longueur d'onde de la radiation rouge du cadmium, telle qu'elle a été spécifiée par la Septième Conférence Générale des Poids et Mesures.

Pour ce passage, la réduction au vide des longueurs d'onde mesurées dans l'air devrait être effectuée par la formule de dispersion pour l'air normal adoptée à Rome en 1952 par la Commission Mixte de Spectroscopie.

PROPOSITION IV.

Pour ce qui concerne le choix de la radiation étalon qui présente les qualités métrologiques les meilleures (finesse, symétrie et autres), le Comité Consultatif ne croit pas encore être suffisamment documenté pour émettre une proposition ferme. Il demande que les grands Laboratoires et le Bureau International poursuivent aussi activement que possible leurs travaux dans ce sens.

En effet, malgré les travaux déjà effectués sur cette question, on doit constater que de nouvelles études sont nécessaires avant de donner une préférence marquée à l'un des mononuclides suivants, déjà employés :



Si ces études conduisent à choisir une radiation prototype de l'un de ces isotopes, il y aura le problème du passage de la valeur conventionnelle primaire de la radiation rouge du cadmium à celle de la radiation choisie. Mais on

pense que les méthodes interférométriques actuelles sont déjà suffisantes pour faire le passage avec assez de précision.

L'opinion générale du Comité Consultatif étant que la technique expérimentale d'aujourd'hui, appuyée sur des principes de physique bien établis, permet le passage à un mètre étalon primaire optique, la question du rôle futur du Bureau International des Poids et Mesures s'est posée.

Tous les Membres du Comité Consultatif sont d'accord pour considérer que, si une définition du mètre par un étalon naturel enlève au Bureau International son rôle de dépositaire de l'étalon prototype, elle doit amener à confier à cette Institution, en considération de sa position privilégiée justement gagnée dans le passé, toutes les opérations fondamentales de liaison entre les différents étalons de longueur d'onde qui pourraient être faites, et entre ces étalons et les étalons à traits. Nous avons déjà signalé que l'importance de ces derniers restera très grande, alors même qu'ils auront cessé d'être les étalons primaires.

Afin d'assurer au Bureau International des Poids et Mesures la possibilité d'accomplir ce rôle, le Comité Consultatif a adopté la proposition suivante :

PROPOSITION V.

Dans l'éventualité où la définition du mètre serait changée, le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre, ayant la conviction que la mission du Bureau International des Poids et Mesures doit rester fondamentale comme précédemment dans le domaine des mesures de longueur, recommande que ce dernier soit équipé des instruments les plus précis pour effectuer des mesures interférentielles dans le vide, pour réaliser dans les conditions les meilleures la liaison entre les

longueurs d'onde, les étalons à traits et les étalons à bouts, et continuer à remplir ainsi l'une des missions essentielles que lui a confiées la Convention du Mètre.

Le Comité Consultatif a examiné la question de la date à laquelle la nouvelle définition du mètre par une longueur d'onde pourra être officiellement adoptée.

En considération des recherches que l'on a estimées encore nécessaires avant toute décision, recherches qui ne pourraient être accomplies à temps pour la prochaine Conférence Générale, mais qui pourraient mener à une conclusion bien avant 1960, la proposition suivante a été adoptée :

PROPOSITION VI.

Le Comité Consultatif recommande que le Comité International demande à la Conférence Générale, qui doit se tenir en 1954, de lui conférer les pouvoirs nécessaires pour décider lui-même des modalités et de la date du changement sans avoir à attendre la Conférence Générale suivante.

Un certain nombre de questions, qui n'ont pas paru assez mûres pour faire l'objet d'une discussion utile, ont été renvoyées à une prochaine session du Comité Consultatif.

ANNEXE M 1.

RAPPORT SUR LA DEFINITION DU MÈTRE

Par R. H. FIELD,
Président du Comité Consultatif.

a. ÉTALONS NATURELS ET ÉTALONS ARBITRAIRES. — Pour l'établissement des étalons pour les unités de mesure, les physiiciens ont toujours préféré des étalons que l'on peut trouver dans la nature. L'avantage de tels étalons est que l'on peut les reproduire à volonté dans tous les laboratoires bien équipés, en n'importe quel lieu de la Terre. Par contre, s'il faut se servir d'un étalon arbitraire pour représenter une unité, un tel étalon est sujet aux détériorations et ne peut exister qu'en un seul lieu. Cela entraîne des comparaisons avec plusieurs de ses copies, qui doivent être transportées d'un lieu à un autre en accomplissant des voyages souvent très longs.

Dans la pratique, on a toujours rencontré de graves difficultés en recherchant des étalons naturels. Il s'agit, en effet, de trouver des étalons que l'on puisse réaliser avec une précision au moins égale à celle que l'on peut atteindre dans les comparaisons entre les instruments pratiques représentant la même unité.

b. LE MÈTRE ÉTALON ARBITRAIRE. — Au début on a représenté le mètre comme un étalon naturel, soit la dix-millionième partie d'un quart de méridien terrestre. Mais, aux environs de 1790, puis de 1880, l'état de la technique des mesures était tel qu'il a été impossible de mesurer une longueur donnée en fonction de l'étalon naturel avec une précision du même ordre que celle que l'on obtenait dans la comparaison de deux règles métalliques

entre elles. Par conséquent on a toujours préféré adopter un étalon arbitraire, dont la valeur restait proche de celle de l'étalon naturel, mais qui était le seul prototype définissant l'unité de longueur. En d'autres termes, le mètre étalon arbitraire a permis aux mesures de longueur d'être exécutées avec un plus haut degré de précision que si elles étaient rapportées au mètre naturel.

c. LE MÈTRE ÉTALON DE L'AVENIR ? — La question s'est posée de savoir si l'avance rapide de la science et de la technique depuis 1889 a fortement changé la situation et si l'on peut, dans le cas du mètre, se servir actuellement d'un étalon naturel, avec tous ses avantages. Le mètre est, probablement, la plus fondamentale de toutes les unités employées dans la science et dans l'industrie et, par conséquent, les étalons d'usage qui le représentent sont utilisés dans le monde entier. Même dans les pays dits « inch using », le mètre est l'étalon pour toutes les mesures de longueur dans le domaine scientifique et dans la technique de précision. En outre, il entre dans toutes les mesures des grandeurs électriques de ces pays et il va devenir, probablement, la seule base pour la définition du yard.

d. PERFECTIONNEMENT DES ÉTALONS MATÉRIELS. — Il faut se rappeler que, en même temps que l'on a amélioré la précision avec laquelle les étalons naturels peuvent être utilisés, on a aussi perfectionné la construction et les méthodes de comparaison des étalons matériels. De plus, à l'heure actuelle, un étalon définissant une unité de longueur doit être un étalon pour les mesures de tous les types de longueurs. Il n'est pas avantageux d'avoir plus d'un étalon pour une seule et même unité.

e. RAPPORT ENTRE LE MÈTRE INTERNATIONAL ET LES LONGUEURS D'ONDE LUMINEUSE. — La définition actuelle du mètre fut sanctionnée par la Première Conférence Générale des Poids et Mesures en 1889. Elle donne une description du prototype à traits en platine iridié, **M**.

On dit qu'il y a environ 130 ans, lors de la recherche d'un étalon naturel de longueur, il a été suggéré que l'on pouvait se servir d'une longueur d'onde lumineuse. Il est bien connu que cette possibilité a commencé d'être réalisable après les expériences de Michelson et Benoit au Bureau International des Poids et Mesures, en 1893, dont on a tiré le premier rapport précis

entre le mètre et les longueurs d'onde de certaines radiations du cadmium. Des travaux plus récents, par exemple au Bureau International des Poids et Mesures, ainsi qu'en Allemagne, en Angleterre, au Japon et en U. R. S. S., ont confirmé les résultats de Michelson. Peters, aux États-Unis, a démontré la possibilité de tracer un étalon à traits en utilisant, comme référence, une longueur d'onde lumineuse.

Plus récemment, avec le développement des procédés pour la séparation des isotopes en quantités utilisables, des raies spectrales plus pures sont devenues disponibles. Ces sources, ainsi qu'il a été démontré expérimentalement, donnent des franges d'interférence pour des différences de marche plus grandes que celles qu'il était possible d'obtenir avec la radiation rouge du cadmium. Ainsi, l'étude des sources isotopiques est courante dans plusieurs laboratoires métrologiques mondiaux.

Conformément à l'opinion connue, on peut dire que les méthodes d'intercomparaison des étalons à traits, des étalons à bouts et des longueurs d'onde lumineuse permettent d'atteindre une exactitude qui n'est limitée, actuellement, que par la précision avec laquelle on peut comparer entre eux les prototypes en platine iridié. Tout en reconnaissant que l'emploi de la technique la plus moderne permet d'envisager la construction de prototypes à traits d'une précision plus élevée que les prototypes actuels, on peut, en même temps, considérer que les développements ultérieurs vont aussi accroître la précision avec laquelle on utilise les longueurs d'onde lumineuse pour la mesure des longueurs. Il faut souligner aussi que, si le Mètre prototype international, \mathcal{M} , était remplacé par un autre étalon à traits d'une précision plus élevée, cela équivaldrait à créer une discontinuité analogue à celle qui résulterait du remplacement de \mathcal{M} par une longueur d'onde lumineuse.

f. LONGUEURS D'ONDE LUMINEUSE ÉTALONS. — Se basant sur les travaux de Michelson et de ses successeurs, l'Union Astronomique Internationale adoptait en 1907 la radiation rouge du cadmium comme étalon de référence pour les longueurs d'onde.

En 1927, la Septième Conférence Générale des Poids et Mesures a sanctionné un rapport entre le mètre et cette même longueur d'onde.

La Huitième Conférence Générale, en 1933, a recommandé l'étude de la définition du mètre en fonction d'une longueur d'onde lumineuse.

En 1948, la question était encore posée à la Neuvième Conférence Générale et cette Conférence a suggéré que les études soient continuées afin qu'une nouvelle définition, fondée sur un étalon naturel, puisse être élaborée. Le texte de la résolution adoptée en 1948 est le suivant :

La Conférence Générale des Poids et Mesures

« ayant pris connaissance des possibilités nouvelles offertes par les raies spectrales des éléments à isotope unique, qui réunissent au plus haut point les qualités requises pour constituer les longueurs d'onde étalons ;

« rend hommage aux savants dont les travaux ont abouti à la réalisation de quantités appréciables de ces éléments ;

« reconnaît dans ces raies la possibilité de retrouver pour l'unité de longueur une base naturelle qui aurait une très haute précision ;

« invite les grands Laboratoires et le Bureau International à poursuivre l'étude de ces raies, dans le but d'établir éventuellement une nouvelle définition du mètre fondée sur la longueur d'onde d'une raie choisie, émise dans des conditions spécifiées ».

Plus récemment, on a suggéré au Comité International que le meilleur moyen pour mettre à exécution cette résolution consisterait en l'établissement d'un quatrième Comité Consultatif, pour la définition du mètre. A sa réunion en 1952, le Comité adopta cette suggestion, et le nouveau Comité Consultatif fut constitué.

g. PROGRAMME DES TRAVAUX DU COMITÉ CONSULTATIF POUR LA DÉFINITION DU MÈTRE. — Conformément au vœu de la Conférence Générale, la tâche du nouveau Comité Consultatif est la suivante :

1° Dès le début, décider s'il existe des raisons techniquement bien établies pour remplacer le Mètre prototype actuel, **M**, par un nouvel étalon, probablement une longueur d'onde lumineuse. Avant de prendre une décision, chaque Membre du Comité Consultatif pourrait communiquer quels renseignements expérimentaux additionnels sont indispensables.

2° Examiner les effets d'un tel changement, spécialement dans la science et dans l'industrie.

3° Si, après un examen très approfondi, on a pris la décision de recommander au Comité International la substitution d'une longueur d'onde à l'étalon matériel actuel, le Comité Consultatif

devra examiner avec soin le travail déjà effectué dans les laboratoires sur les diverses sources isotopiques convenables. Après cet examen, il faudra décider si les faits établis sont suffisants pour permettre de rédiger une définition pour le mètre qui en autorise la reproduction avec un haut degré d'exactitude dans tout laboratoire bien équipé. Une telle définition devra servir sans aucune modification importante pour 50 ans; en même temps, elle devra satisfaire tous les besoins de la science et de l'industrie.

4° Si, selon l'avis du Comité Consultatif, les données du problème ne sont pas suffisantes, on pourra organiser les recherches nécessaires dans les laboratoires les plus appropriés (les recherches importantes pourront avoir lieu dans deux ou plusieurs laboratoires indépendants).

Dans ce cas, il faut considérer la possibilité de recommander au Comité International qu'il demande à la Dixième Conférence Générale, projetée pour 1954, de lui donner les pouvoirs nécessaires pour sanctionner la nouvelle définition aussitôt qu'elle pourra être formulée d'une façon satisfaisante. (Si cette procédure n'est pas suivie, il ne sera pas possible de sanctionner une nouvelle définition avant 1960, à la Onzième Conférence Générale.)

h. QUELQUES CONDITIONS ESSENTIELLES POUR UNE NOUVELLE DÉFINITION DU MÈTRE. — 1° La définition doit être complète et détaillée afin que chaque laboratoire puisse, en la suivant, reproduire l'étalon avec la plus haute précision expérimentale.

2° La définition ne doit pas changer les valeurs actuelles acceptées pour les prototypes internationaux, d'une quantité supérieure à la limite de précision des comparaisons entre prototypes.

3° La définition ne doit pas changer la valeur en mètre de la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium, sanctionnée par la Septième Conférence Générale, d'une quantité dépassant l'erreur expérimentale dans la mesure de cette longueur d'onde dans un laboratoire. Cette raie spectrale est couramment utilisée comme étalon en spectroscopie et en métrologie, et il faut garder sa valeur actuelle.

(Les spécifications 2° et 3° ne sont pas indépendantes, mais il est bon de les avoir toutes deux présentes à l'esprit.)

ANNEXE M 2

LETTRE DE J. CABANNES

Paris, le 21 janvier 1953.

Cher Professeur FIELD,

Comme vous me l'écrivez, le Comité Consultatif a bien été formé pour étudier une définition du mètre à partir d'une longueur d'onde reconnue internationalement.

La règle de platine iridié M , qui sert actuellement d'étalon (sous le nom de Mètre international), n'a pas une longueur bien définie parce qu'à l'époque où fut construit cet étalon on ne savait pas tracer des traits aussi parfaits qu'on le ferait aujourd'hui. Si l'on veut profiter des progrès de la technique depuis 1889, il faut donc abandonner cet étalon déjà ancien.

Il y a d'ailleurs intérêt, comme vous le faites remarquer, à revenir à un étalon naturel qui soit très bien défini et auquel on puisse facilement comparer les longueurs à mesurer.

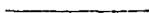
Les longueurs d'onde des radiations lumineuses se prêtent bien à de telles mesures, mais le choix de la longueur d'onde exige une raie très fine et dépourvue de satellites.

1° Puisque la largeur de la raie est proportionnelle à $\sqrt{\frac{T}{A}}$ (T, température absolue; A, masse atomique), il faut choisir comme source de lumière un atome lourd très refroidi. Le krypton (qu'on peut avoir à l'état gazeux à très basse température) et le mercure (qui possède une grande masse atomique) conviennent bien, semble-t-il, puisqu'on sait séparer les différents isotopes de ces deux éléments. On arrive avec l'un ou l'autre à des finesse de raie comparables. Une étude plus serrée du problème nous permettrait de choisir entre les deux solutions. Il faudrait voir quelle est

la source la plus facile à mettre en œuvre et la mieux reproductible. Un inconvénient de la vapeur de mercure serait la nécessité de la mélanger à un gaz étranger pour amorcer la décharge.

2° Lorsqu'on aura choisi l'étalon de longueur d'onde, il faudra le comparer à une règle dont la longueur se rapprochera autant que possible de celle du Mètre international du Pavillon de Breteuil, mais limitée par des traits mieux tracés que les traits de ce dernier. Cette comparaison serait ramenée, comme celle du Mètre actuel, à la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium.

.....



ANNEXE M 3.

EXTRAIT
D'UNE LETTRE DE B. EDLÉN

(Traduction.)

Lund, le 14 février 1953.

.....
A propos des sujets à inscrire à l'Ordre du Jour, il me semble que les questions importantes ont été englobées dans les deux circulaires que j'ai reçues, l'une du 22 décembre 1952, venant de vous, l'autre du 30 janvier 1953, du National Bureau of Standards. Peut-être pourrait-on examiner aussi *la réduction aux conditions normales des longueurs d'onde mesurées dans des conditions quelconques*. Bien qu'il ne soit pas directement inclus dans la question principale, ce problème est de quelque importance pratique, d'autant plus que la grande majorité des mesures, faites à l'aide de l'étalon qui est à définir maintenant, seront très probablement exécutées dans un air non conditionné.
.....

ANNEXE M 4.

REMARQUES SUR LE PROGRAMME DE TRAVAIL DU COMITÉ CONSULTATIF POUR LA DÉFINITION DU MÈTRE

par J. STULLA-GÖTZ

1° L'adoption d'une nouvelle définition du mètre, fondée sur une longueur d'onde lumineuse, exige le changement d'une Résolution fondamentale votée par la Conférence Générale des Poids et Mesures de 1889. Or, la Conférence ne devrait modifier une Résolution antérieure qu'après mûres réflexions. Il ne faut donc pas se laisser presser par l'échéance de 1954.

2° La précision des mesures sur les étalons à traits a fait des progrès considérables pendant ces dernières années et l'avance prise par les étalons à bouts a été rattrapée d'une manière très sensible. Nous faisons ici allusion aux nouveaux tracés exécutés sur certains prototypes [1], au comparateur du Bureau International des Poids et Mesures amélioré par M. Volet [1], aux procédés photoélectriques de la Société Genevoise d'Instruments de Physique [2].

Les neuf déterminations du mètre en longueurs d'onde lumineuse [3], ayant donné des résultats s'écartant les uns des autres de quelques dixièmes de micron, ont toutes été faites à l'aide de prototypes munis de traits ne correspondant plus aux exigences modernes et à l'aide de comparateurs non équipés de microscopes à retournement. C'est par hasard que la moyenne de toutes ces mesures, sans égard à la précision ou au poids de chacune d'elles, donne presque la même valeur pour la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium que celle admise par la Conférence Générale des Poids et Mesures.

En tout cas, on a le droit d'estimer qu'il est nécessaire de répéter ces mesures en employant des étalons bien tracés, ainsi

que des appareils et des méthodes exempts d'erreurs systématiques.

3° La longueur qui serait attribuée au Mètre par une nouvelle définition devrait être, autant que possible, la même que celle qui est fixée actuellement.

4° Des considérations 1° à 3° résulte la suggestion suivante :

Les grands Laboratoires nationaux et le Bureau International des Poids et Mesures se procurent des « Étalons à bouts et à traits », imaginés et construits par W. Kösters, c'est-à-dire des Mètres à bouts pourvus de deux traits, susceptibles d'être vérifiés par les longueurs d'onde d'une manière simple [4].

Chacun de ces Laboratoires détermine son « Étalon à bouts et à traits », en longueurs d'onde des radiations des isotopes du mercure ainsi que du krypton. Le Comité International des Poids et Mesures spécifie le mode d'utilisation des lampes.

Chaque Laboratoire compare son « Étalon à bouts et à traits » avec son Mètre national.

La tâche du Bureau International des Poids et Mesures serait alors de comparer au comparateur amélioré les « Étalons nationaux à bouts et à traits », les uns avec les autres, et en outre avec un « Étalon international à bouts et à traits », du même genre, déposé au Bureau International des Poids et Mesures, ainsi qu'avec les Mètres prototypes d'usage, nouvellement tracés, du Bureau International. Une valeur moyenne serait attribuée à l'« Étalon international ».

On répéterait plusieurs fois ces mesures, qui permettraient de déduire :

a. pour quelles radiations les mesures nationales s'accordent le mieux ;

b. quelle longueur d'onde convient le mieux pour la nouvelle définition du mètre ;

c. par quel nombre de longueurs d'onde on doit définir à l'avenir le mètre pour que le changement de l'unité de longueur soit le plus petit possible.

Ce n'est qu'après avoir pris connaissance de ces résultats que la Conférence Générale des Poids et Mesures devrait détrôner le Mètre international en platine iridié pour le remplacer par un étalon naturel.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] A. PÉRARD et CH. VOLET, *Les Mètres prototypes du Bureau International* (Travaux et Mémoires, t. 21, 1952).
 - [2] CH. VOLET, *La conservation des unités du Système Métrique* (*Nuovo Cimento*, t. 9, vol. VIII, 1951, suppl. p. 27).
H. MOREAU, *Un microscope micrométrique photoélectrique* (*Mesures et Contrôle Industriel*, t. 16, 1951, n° 165, p. 51).
 - [3] A discussion on units and standards : H. BARRELL, *The standards of length in wavelenghts of light* (*Proc. Roy. Soc., A*, t. 186, 1946, n° 1005, p. 168).
 - [4] W. KÖSTERS, *Comptes rendus des Séances de la Neuvième Conférence Générale des Poids et Mesures*, 1948, Annexe III, p. 82. *V. D. I.-Zeitschrift*, t. 87, 1943, p. 524, fig. 8.
-

NOTES PRÉSENTÉES
PAR Y. VÄISÄLÄ

(Traduction).

A. SUR L'ÉTALON DE LONGUEUR. — 1. Notre unité de longueur a été définie à l'origine par le Mètre en platine iridié.

2. La longueur d'onde de la radiation rouge du cadmium a été déterminée dans l'air normal, et cela avec une exactitude égale à celle avec laquelle le Mètre (du paragraphe 1) est pratiquement défini. Comme on le sait, on a décidé de ne plus jamais changer la valeur de la radiation rouge du cadmium ($\lambda = 0,643\,846\,96\,\mu$).

3. Un autre pas en avant serait de déterminer aussi exactement que possible la longueur d'onde de la radiation rouge du cadmium *dans le vide* (d'après le paragraphe 2), de sanctionner la valeur obtenue, et de l'utiliser comme étalon de longueur.

4. D'autres raies de bonne qualité (Kr, Hg 198, etc.) seront rattachées aussi soigneusement que possible à la valeur de la radiation rouge du cadmium dans le vide, et si l'une de ces nouvelles radiations se montrait un étalon plus précis pour les mesures de longueur, on pourrait ainsi *sanctionner la longueur d'onde de cette radiation comme étalon de longueur encore plus parfait*.

Il va de soi qu'un nouvel étalon de longueur (particulièrement ceux des paragraphes 3 et 4) ne serait sanctionné définitivement qu'après qu'il aurait été rattaché à l'étalon ancien avec une précision telle qu'aucune contradiction ne puisse se présenter entre les deux définitions. *Pour la définition de la longueur d'onde, on doit préférer le vide.*

B. SUR DES MESURES DE LONGUEUR DE LA PLUS GRANDE EXACTITUDE. — Le problème de la mesure exacte de distances comprises entre

quelques centaines de mètres et plusieurs kilomètres se présente particulièrement en géodésie. La mesure des bases s'effectue jusqu'ici principalement à l'aide de fils d'invar qui permettent d'atteindre une exactitude d'environ 10^{-6} en valeur relative. La principale difficulté dans l'emploi des fils d'invar réside dans leur étalonnage correct qui, à cause de leur instabilité, doit être effectué à une époque et en un lieu aussi rapprochés que possible de la mesure de la base.

En 1923, j'ai proposé d'utiliser les interférences lumineuses pour la mesure de grandes distances et montré par l'expérience que ceci devait être possible jusqu'à quelques centaines de mètres, peut-être même jusqu'à 1 km. En quelques années, l'appareil de mesure a été construit et des mesures réelles ont été effectuées sur une base expérimentale longue de 192 m au voisinage de l'Observatoire de Turku. On a atteint dans ces mesures une exactitude relative d'environ 10^{-7} , ainsi que je l'avais prévu dans ma première publication. Sous ma direction, quelques élèves ont étendu ces mesures jusqu'à 384 m et en 1947 la base expérimentale de l'Institut Géodésique Finlandais à Nummela, d'une longueur de 864 m, a été mesurée par Kukkamäki et Honkasalo, en utilisant ma méthode interférentielle, avec une erreur moyenne de $\pm 0,04$ mm. Les appareils interférentiels que j'ai construits sont en usage dans plusieurs Instituts scientifiques. Leur principal domaine d'utilisation est la détermination de la longueur de fils d'invar (24, 25 et 50 m). Le Congrès Géodésique de Bruxelles en 1951 a recommandé de construire des bases géodésiques étalons d'une longueur de quelques centaines de mètres dans différents pays et de les mesurer par la méthode interférentielle.

Dans ma méthode interférentielle, la mesure est effectuée au moyen d'un procédé de multiplication utilisant de la lumière blanche. On pourrait bien choisir la première distance assez courte pour qu'elle pût être mesurée directement en longueurs d'onde, mais pour les mesures sur le terrain, je préfère de beaucoup partir d'un étalon matériel et déterminer sa longueur au laboratoire dans des conditions favorables.

Comme étalons de départ, on a utilisé le plus souvent depuis 1927 des étalons à bouts de 1 m en quartz fondu (tubes de quartz fondu munis d'extrémités en silice transparente ou barres de silice transparente), dont les extrémités sont convexes ou planes.

Ces Mètres en quartz, dont la dilatabilité thermique est environ $0,4 \mu/\text{degré}$, ont été comparés les uns aux autres au laboratoire au moyen d'un comparateur interférentiel spécial. Dès les premières comparaisons de 1929 avec un appareil provisoire, au quatrième étage du bâtiment de l'Université de Turku, on a atteint une exactitude de $\pm 0,02 \mu$. Actuellement, nous avons en construction un nouveau comparateur dans le laboratoire souterrain de Tuorla, à environ 12 km à l'est de Turku. Les premières mesures d'essai font prévoir que l'on pourra effectuer la comparaison des étalons à bouts assez rapidement avec une exactitude d'environ $\pm 0,01 \mu$.

La variation des Mètres en quartz, d'après notre expérience de 25 années, paraît en général assez petite (nous allons comparer entre eux, dans le nouveau laboratoire, un nombre aussi grand que possible des quelques 20 Mètres en quartz que nous avons construits); d'autre part, la comparaison des Mètres en quartz peut s'effectuer avec une exactitude relative d'environ 10^{-8} ; il en résulte que les Mètres en quartz (tout au moins pour des durées assez courtes) constituent un système d'étalons de longueur dont l'exactitude interne est plus grande que celle des anciens Mètres en platine iridié. Grâce à l'introduction de certaines améliorations dans ma méthode de mesure des grandes distances, il ne devrait pas être impossible de mesurer, avec ce système de Mètres en quartz, des longueurs atteignant environ 1 km avec une exactitude relative de $\pm 2 \cdot 10^{-8}$ ou $\pm 3 \cdot 10^{-8}$.

On pourrait rattacher à ce système de Mètres en quartz des étalons en quartz de longueurs différentes (nous en avons construit qui atteignent une longueur de 3 m et nous avons aussi en construction une nouvelle série d'étalons plus courts, inférieurs à 1 m). L'équation de dilatation et le coefficient de compressibilité des Mètres en quartz ont été déterminés autrefois par Kukkamäki, mais nous avons l'intention de répéter des mesures semblables au Laboratoire de Tuorla.

Si l'on réussit à effectuer des mesures absolues de longueur en longueurs d'onde avec une exactitude relative qui serait par exemple $\pm 2 \cdot 10^{-8}$, on pourra déterminer avec la même exactitude les longueurs dans notre système de Mètres en quartz, et nous aurons la possibilité de mesurer des longueurs atteignant environ 1 km (et davantage par addition) avec une exactitude voisine de celle que nous venons d'indiquer. Nous avons inclus également dans notre

programme de travail l'exécution de mesures absolues de longueur, en particulier la détermination des longueurs dans notre système de Mètres en quartz. Notre intention est d'effectuer ces mesures dans l'air et de déterminer séparément, au moyen d'un appareil spécial, l'indice de réfraction de l'air au voisinage immédiat de l'appareil servant aux mesures absolues. Pour ce travail, nous avons besoin de la longueur d'onde de la source de lumière (Cd, Hg, etc.) *dans le vide*. Les mesures de température et de pression barométrique ne servent que pour le calcul de petites corrections différentielles et pour la réduction des étalons en quartz aux conditions normales.

(19 mai 1953.)

BIBLIOGRAPHIE.

- Y. VÄISÄLÄ, *Die Anwendung der Lichtinterferenz zu Längenmessungen auf grösseren Distanzen* (Veröff. Finn. Geod. Inst., n° 2, Helsinki, 1923).
- Y. VÄISÄLÄ, *Über die Längenmessung mit Hilfe der Lichtinterferenz* (Z. Instrk., t. 47, 1927, p. 398).
- Y. VÄISÄLÄ, *Anwendung der Lichtinterferenz bei Basismessungen* (Veröff. Phys. Lab. Univ. Turku, n° 1, Helsinki, 1930).
- T. J. KUKKAMÄKI, *Untersuchungen über die Meterendmasse aus geschmolzenem Quarz nach lichtinterferometrischen Methoden* (Veröff. Phys. Lab. Univ. Turku, n° 2, Turku, 1933).
- TAUNO HONKASALO, *Measuring of the 864 m-Long Nummela Standard Base Line with the Väisälä Light Interference Comparator and some Investigations into Invar Wires* (Veröff. Finn. Geod. Inst., n° 37, Helsinki, 1950).
- L. OTERMA, *Medición de largas distancias pro medio de interferencias de la luz* (VRANIA, n° 228, Tarragona, 1951. Rapport de mise au point).
-

ANNEXE M 6.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Allemagne).

CONSIDÉRATIONS SUR LE CHANGEMENT
DE LA DÉFINITION DU MÈTRE

par E. ENGELHARD.

(Traduction.)

1. ATTITUDE DE PRINCIPE VIS-A-VIS DE LA QUESTION
DE LA DÉFINITION DU MÈTRE.

1.1. Partant du Mètre prototype international à traits, on a déduit les longueurs d'onde par l'intermédiaire d'étalons à bouts. En toute rigueur règne actuellement l'ordre de préséance suivant : étalon à traits \rightarrow étalon à bouts \rightarrow longueur d'onde. La question est maintenant de savoir si l'ordre de préséance d'aujourd'hui doit être maintenu, ou s'il doit être inversé dans un proche avenir : longueur d'onde \rightarrow étalon à bouts \rightarrow étalon à traits.

1.2. Ce dernier ordre de préséance mérite sans aucun doute de recevoir la préférence sur celui d'aujourd'hui, si on le considère du point de vue de la science, de la théorie de la connaissance, et de la pédagogie, car au sommet se tiendrait une constante atomique bien définie par les fondements mêmes de la physique, donnée par la nature, et reproductible en tout temps, au lieu d'un corps relativement mal défini, que l'on a choisi arbitrairement sous la forme du Mètre prototype international à traits.

1.3. On doit se demander également si l'inversion de l'ordre de préséance en vigueur jusqu'ici est ou n'est pas convenable du point de vue de la métrologie pratique.

A ce sujet, on ne doit pas se laisser induire en erreur par des exemples d'autres définitions mal choisies faisant appel à de soi-disant unités naturelles, tel celui de la définition du mètre par le quadrant terrestre. Cette définition était mauvaise, d'abord parce que c'était une erreur de croire qu'il y eût entre le globe terrestre et un autre corps terrestre quelconque une différence essentielle, et ensuite parce que déduire le mètre du quadrant terrestre est beaucoup trop difficile et imprécis.

Un autre exemple d'une unité naturelle mal choisie est la définition du kilogramme par un décimètre cube d'eau. On aurait peut-être pu prévoir la difficulté que présenterait la reproduction de cette unité.

1.4. Des erreurs semblables seraient exclues pour de bonnes raisons si l'on définissait le mètre par une longueur d'onde.

Le rattachement de la longueur d'onde au Mètre prototype international à traits, effectué au Bureau International pour la première fois par Michelson il y a plus de 60 ans, a été répété depuis lors huit fois en cinq lieux différents et par quatre méthodes différentes. Les résultats de toutes les mesures sont en accord dans les limites de la définition du Mètre à traits. La relation entre la longueur d'onde et le mètre est aussi bien connue que le permet le Mètre prototype international à traits.

1.5. Les divers rattachements de la longueur d'onde au mètre prouvent excellemment que le Mètre prototype international à traits est heureusement d'une stabilité remarquable. Il n'est venu à l'idée de personne de douter de l'invariabilité des longueurs d'onde. L'accord de tous les rattachements de la longueur d'onde au mètre est en fait la seule preuve indubitable de la stabilité du Mètre prototype à traits. Cette circonstance à elle seule présente sous son jour véritable l'ordre de préséance réel du Mètre prototype à traits et de la longueur d'onde.

1.6. La technique de mesure par les longueurs d'onde, ou technique interférentielle, s'est développée à tel point que l'on peut aujourd'hui, grâce à elle, effectuer non seulement dans les

laboratoires d'État, mais aussi dans l'industrie, des mesures courantes de longueur d'une précision inégalée jusqu'ici.

1.7. Il ne faut donc nullement s'attendre, comme on l'a supposé, à ce que l'on retourne plus tard de la définition du mètre par une longueur d'onde à la définition par un prototype.

Il va de soi qu'il sera toujours nécessaire ou utile, même dans la technique interférentielle, de disposer d'étalons, car toutes les mesures de longueur ne se prêtent pas à une évaluation directe par les ondes lumineuses. Ce qu'il y aurait de nouveau dans la technique interférentielle, c'est que les étalons de longueur à bouts ou à traits pourraient en principe être contrôlés par les ondes lumineuses avec rapidité et une grande exactitude à une époque quelconque et en tous lieux.

Aussi longtemps que l'unité de longueur est définie par un prototype, il n'existe en principe aucune garantie de son invariabilité. La preuve de variations n'est qu'une question d'exactitude de mesure. L'expérience acquise, lors de la comparaison générale des prototypes en 1920-1922, est significative (1).

1.8. En même temps que se développait la technique interférentielle, des progrès remarquables ont été faits dans la production de lumières extrêmement monochromatiques. Lorsque, il y a de cela plus de 100 ans, l'idée d'une définition de l'unité de longueur par une longueur d'onde a été exprimée pour la première fois, nos connaissances scientifiques n'étaient pas assez développées. A cette époque, par exemple, on ne connaissait pas encore la structure en doublet de la raie D du sodium. Même en 1927, lorsque la Septième Conférence Générale des Poids et Mesures a débattu pour la première fois sérieusement la proposition d'une telle définition, le problème n'était pas encore mûr. Nos connaissances sur la structure des raies, par exemple, n'étaient pas encore assez complètes, ni assez certaines. Il n'existait également aucune possibilité d'obtenir des isotopes purs en quantité notable.

Mais maintenant, le développement des connaissances spectroscopiques paraît en quelque sorte achevé et les lois des spectres ont été étudiées jusque dans leurs moindres détails. En

(1) CH.-ÉD. GUILLAUME, *La Création du Bureau International des Poids et Mesures et son Œuvre*, Gauthier-Villars, Paris, 1927.

outré, on sait produire d'une façon courante et en quantité suffisante les isotopes nécessaires à l'excitation d'ondes lumineuses extrêmement monochromatiques, et l'on sait réaliser des lampes de construction très simple, susceptibles de répondre aux exigences les plus sévères, probablement pour très longtemps.

1.9. Les radiations émises par ces dernières lampes permettent de réaliser une échelle de longueur d'une finesse extrême et d'une exactitude absolue. Pour ces radiations, la linéarité théorique de la progression de l'ordre d'interférence a été vérifiée plusieurs fois et ne peut plus être sérieusement mise en doute.

1.10. Avec les sources de lumière récentes, il est déjà possible de mesurer directement des intervalles de 1 000 000 longueurs d'onde. Vraisemblablement seront développées à l'avenir des sources de lumière avec lesquelles il serait possible d'atteindre en une seule étape des longueurs de 1 m. Pour des intervalles plus grands, la technique interférentielle dispose du procédé d'addition qui ne diffère pas en principe de celui de la technique des mesures à traits. Dans la technique des mesures à traits, c'est la capacité limitée des machines à diviser et des comparateurs utilisables, dans la technique interférentielle c'est la limitation de la longueur de cohérence qui, dans l'un et l'autre cas, rendent indispensable le procédé d'addition.

1.11. Dans la technique interférentielle, on dispose en outre du procédé de multiplication, qui n'a pas de parallèle dans la technique des mesures à traits. Avec ce procédé, on a déjà mesuré des intervalles d'environ 1 000 m ⁽¹⁾.

1.12. Des méthodes pour rattacher le Mètre à traits aux longueurs d'onde existent, ce sont celles qui ont été développées en vue de résoudre le problème inverse consistant à rattacher la longueur d'onde au Mètre prototype à traits. Il serait par exemple, en principe, possible au Bureau International de déterminer le Mètre international à traits en fonction des longueurs d'onde avec une exactitude qui, pour l'instant, ne serait limitée que par l'imperfection du Mètre prototype international à traits. Tout laboratoire d'État qui ne pourrait pas ou ne voudrait pas faire

(1) *Veröff. Finn. Geod. Inst.*, n° 37, Helsinki, 1950.

usage de la technique interférentielle aurait toujours la possibilité, au cas d'une définition future du mètre par une longueur d'onde, de faire comparer au Bureau International son Mètre prototype à traits au Mètre prototype international à traits (contrôlé par les longueurs d'onde). Ainsi pourrait-on réaliser tout au plus un gain d'exactitude.

1.13. Tous les procédés élémentaires pour rattacher des étalons à traits aux longueurs d'onde ont déjà été développés par Michelson depuis plus de 60 ans. Si l'on avait suivi la voie indiquée par Michelson, la technique des mesures de longueur posséderait vraisemblablement depuis longtemps des machines à diviser interférentielles ou des comparateurs interférentiels d'une précision analogue à celle qu'espère atteindre maintenant la Société Genevoise par la méthode photoélectrique. Néanmoins, il y a plus de 20 ans que la firme Karl Zeiss, à Iéna, a fabriqué et contrôlé des étalons à traits particulièrement exacts d'après les principes utilisés par Michelson (1).

1.14. On ne peut cependant pas douter que la technique des mesures à traits ait été améliorée sensiblement dans les dernières années et qu'elle soit encore susceptible d'améliorations, par exemple grâce à l'utilisation de la méthode photoélectrique de la Société Genevoise. Mais on ne doit pas perdre de vue que le comparateur photoélectrique et la machine à diviser photoélectrique n'ont pas encore franchi le stade du modèle d'étude et ne sont pas encore introduits dans les laboratoires industriels. On ne peut donc pas encore, pour le moment, porter un jugement définitif sur le nouveau procédé photoélectrique de mesure.

Mais, d'autre part, l'exactitude de la technique des mesures interférentielles augmentera encore certainement. Avec la lampe à krypton 84, on pourrait déjà reproduire en principe le mètre avec une exactitude relative approchant 10^{-9} aussitôt que serait donné à la technique de mesure un fondement solide, grâce à une définition appropriée de la longueur d'onde.

1.15. Même si l'exactitude de la technique des mesures à traits atteignait celle de la technique interférentielle, il resterait

(1) K. RÄNTSCH, *Über ein Gerät zur interferentiellen Prüfung von Strichmassstäben* (*Optik*, Vol. 4, 1948-1949, p. 283).

encore en faveur de la longueur d'onde une série d'avantages remarquables et bien connus, qui établiraient d'une façon éminente sa supériorité sur le Mètre prototype à traits. La plupart de ces avantages sont étroitement liés à la notion d'une constante naturelle : invariabilité, indestructibilité, indépendance de la température et de la pression et avant tout omniprésence. Ces avantages à eux seuls seraient de nature à provoquer une véritable et bien-faisante révolution dans la métrologie. Enfin, il faut ajouter l'avantage de la division interne extraordinairement fine et exacte que l'étalon longueur d'onde fournit par surcroît.

1. 16. Pour la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, il n'existe aucun doute, d'après les considérations précédentes, que le problème de la définition du mètre par une longueur d'onde est maintenant mûr pour une décision immédiate. La P. T. B. soutiendra en conséquence au Comité Consultatif toute proposition de nature à progresser vers l'objectif d'une définition immuable du mètre par le moyen d'une longueur d'onde.

Mais la P. T. B. ne voit, dans la proposition tendant à rattacher à nouveau les longueurs d'onde à des prototypes améliorés et à des étalons mixtes à bouts et à traits, aucun progrès vers le but final de la définition du mètre au moyen d'une longueur d'onde. Une telle procédure ne pourrait avoir comme conséquence que de repousser la décision définitive dans un avenir lointain et imprévisible. En réalité, il ne s'agit pas non plus d'établir la valeur de la longueur d'onde qui soit incontestablement la plus exacte, mais la valeur la plus convenable pour que soit évitée toute discontinuité notable.

1. 17. Dans le chapitre 2 seront formulées quelques propositions que la P. T. B. considère comme contenant les fondements indispensables pour une redéfinition éventuelle du mètre.

2. ÉLÉMENTS FONDAMENTAUX POUR UNE FUTURE DÉFINITION DU MÈTRE PAR UNE LONGUEUR D'ONDE.

2. 1. Définition du mètre par une constante naturelle véritable sous les conditions suivantes :

2. 1. 1. Définition du mètre par une longueur d'onde dans le vide.

La définition du mètre ne devrait sous aucun prétexte être

alourdie par les incertitudes de la détermination de la température, de la pression et de l'humidité de l'air. L'objection que la plupart des mesures devraient être faites dans l'air ne pourrait être retenue, car il existe une méthode simple pour éliminer la réfraction de l'air.

2.1.2. Définition, pour l'établissement du mètre, d'une longueur d'onde dans le vide d'après les termes spectraux correspondants.

Les longueurs d'onde ne devraient pas être définies par la spécification d'une source de lumière particulière, sinon la définition du mètre ne reposerait pas sur une constante naturelle véritable, mais sur une certaine lampe qui, au bout de peu de temps, serait démodée, comme l'est aujourd'hui la lampe de Michelson.

Une constante naturelle véritable serait la différence ΔE de deux états énergétiques d'un atome (en repos par rapport à l'observateur et soumis pratiquement à aucun autre champ que celui de gravitation).

Le nombre d'ondes par mètre qu'il faut définir est

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{\Delta E}{hc} \quad [\text{m}^{-1}].$$

Cette équation ne contient, en dehors de ΔE , que les constantes universelles h (constante d'action de Planck) et c (vitesse de la lumière). La constante atomique ΔE est caractérisée sans ambiguïté par la désignation des termes, comme on le fait en spectroscopie.

Une définition du mètre dans ce sens pourrait s'énoncer par exemple :

Un mètre est égal à 1 769 557,870 longueurs d'onde dans le vide de la radiation jaune-vert de l'isotope 84 du krypton, caractérisée par les termes $1^3P_0 - 3^3D_1$.

Néanmoins, on devrait spécifier une source déterminée, en donnant l'exactitude avec laquelle peut être reproduite, dans les conditions d'alimentation indiquées, la valeur idéale de la longueur d'onde, conforme à la définition.

Avec une telle réglementation, les générations à venir pourraient toujours utiliser une source de lumière qui corresponde à l'état de la technique de leur époque. Avec le progrès du dévelop-

pement des sources de lumière, le mètre pourrait être reproduit avec une exactitude toujours plus grande, mais sa valeur resterait inchangée; l'incertitude de cette reproduction du mètre pourrait être évaluée chaque fois avec une exactitude suffisante d'après nos connaissances physiques sur les phénomènes qui s'accomplissent dans les lampes.

Ce serait l'un des rôles importants du Bureau International, à l'avenir, de développer, d'étudier et d'expérimenter des types de lampes.

2.2. Définition du mètre par une longueur d'onde, selon 2.1, fondée sur un atome de nombre de masse pair et de nombre atomique pair (nombre de masse divisible par quatre). Comme fondement pour une définition par une longueur d'onde il ne pourrait être question que d'un atome dont le nombre de masse et le nombre atomique soient pairs. Seuls les atomes de cette sorte ont un spin $\frac{h}{2\pi}$ nul.

2.3 Rattachement de la nouvelle définition du mètre à la radiation rouge du cadmium dans l'air afin d'éviter des discontinuités.

2.3.1. Réduction de la longueur d'onde de la radiation rouge du cadmium dans l'air, à la longueur d'onde dans le vide, en utilisant la formule de dispersion acceptée internationalement pour l'indice de l'air, ou une autre formule de dispersion, au cas où cette dernière serait considérée comme meilleure.

2.3.2. Rattachement de la longueur d'onde dans le vide de la radiation qui serait prise pour base de la définition future du mètre, à la longueur d'onde dans le vide de la radiation rouge du cadmium (2.3.1), soit par des mesures comparatives, soit par un calcul utilisant le principe de combinaison (selon la proposition du N. B. S., cf. Annexe M 9, point 5).

On dispose déjà de toutes les observations indispensables pour l'établissement d'une définition future par une longueur d'onde. Les décisions nécessaires pourraient être prises immédiatement.

3. PROPOSITIONS POUR UNE DISCUSSION GÉNÉRALE.

3.1. La P. T. B. considère que les « Questions suggérées pour la discussion par le Comité Consultatif pour la Définition du

Mètre » proposées par le N. P. L., Angleterre, en décembre 1952 (cf. Annexe M 10) constituent une base convenable pour une discussion générale. Le programme proposé par le N. P. L. éclaire le problème de la définition du mètre sous toutes ses faces.

La P. T. B. s'intéresse en particulier à la discussion des questions 2.6, 3.1, 3.2, 4.1, 4.2, 4.3, et 4.4 du programme proposé par le N. P. L.

3.2. Sont proposés en outre les points suivants pour une discussion générale :

3.2.1. Production d'isotopes pour l'excitation des radiations spectrales extrêmement monochromatiques.

3.2.2. Possibilité de nouveaux développements dans le domaine de la production de lumières extrêmement monochromatiques et dans la réalisation des sources lumineuses.

3.2.3. Possibilité de réviser sans difficulté une définition du mètre fondée sur une longueur d'onde, chaque fois qu'on le jugera opportun, pour la rattacher à la radiation la plus fine disponible.

(Juin 1953.)

ANNEXE M 7.

National Research Council (Canada).

CONSIDÉRATIONS SUR LA TÂCHE

DU COMITÉ CONSULTATIF
POUR LA DÉFINITION DU MÈTRE

par K. M. BAIRD.

(Traduction.)

Les commentaires suivants sont exprimés dans le but de participer à l'échange préliminaire de points de vue suggéré par le Président du Comité Consultatif dans sa lettre en date du 14 janvier 1953.

DISCUSSION GÉNÉRALE. — 1. *a.* La considération essentielle dans le choix d'un étalon fondamental de longueur devrait être la précision avec laquelle il peut être reproduit et employé pour comparer diverses longueurs. Aussi, d'après ce critère, il apparaît actuellement évident que le meilleur étalon disponible serait la longueur d'onde d'une radiation visible émise par un isotope unique de masse atomique paire.

b. En vertu de la même considération, la longueur d'onde et la méthode d'excitation spécialement choisies devraient être celles qui seraient susceptibles d'être le moins affectées par les conditions d'observation. Par exemple, il serait souhaitable d'éliminer entièrement l'effet des variations atmosphériques en adoptant une longueur d'onde dans le vide; d'un autre côté, le problème du choix de la meilleure source et de la meilleure méthode d'excitation nécessitera une expérimentation ultérieure considérable, comme il est suggéré ci-après.

2. En définissant un nouvel étalon, il est important de maintenir autant que possible la continuité avec le mètre actuel. La manière la plus raisonnable d'y parvenir paraît être d'adopter, comme étant exacte, la valeur déjà acceptée pour la longueur d'onde de la radiation rouge du cadmium et d'ajouter des zéros aux chiffres décimaux significatifs, qui expriment cette longueur d'onde en fonction de la longueur du nouvel étalon (cela, je crois, est dans la ligne de la proposition de l'U. R. S. S. à la Neuvième Conférence Générale).

3. *a.* La commodité pour la pratique et pour les mesures commerciales devrait avoir seulement une importance secondaire dans le choix d'un nouvel étalon international. On peut dériver des étalons secondaires en vue des applications pratiques variées qui peuvent se présenter de temps à autre.

b. De même, on ne devrait pas attribuer trop d'importance aux difficultés actuelles du rattachement des étalons à bouts aux étalons à traits ou de ces derniers à une longueur d'onde étalon. Il est presque certain qu'on surmontera ces difficultés à l'aide de nouvelles techniques (comme, par exemple, la comparaison *directe* d'un étalon à traits à une longueur d'onde). De tels sujets et le choix de formules pour la réduction à des conditions normales méritent certainement d'être discutés, mais sans qu'ils puissent affecter sérieusement le choix de l'étalon fondamental de longueur.

SUJETS PROPOSÉS POUR L'ORDRE DU JOUR. — En conséquence des considérations exposées ci-dessus, il est suggéré que les sujets suivants soient étudiés lors de la première réunion du Comité Consultatif.

1. Discussion des arguments pour ou contre l'adoption d'une longueur d'onde lumineuse comme étalon de longueur. On souligne que cette discussion devrait être gouvernée par la considération donnée au paragraphe 1 ci-dessus et ne devrait pas être obscurcie par celles qui sont mentionnées au paragraphe 3 ci-dessus.

2. Si, comme il est extrêmement vraisemblable, les arguments sont en faveur d'une longueur d'onde, et, étant donné qu'on ne dispose pas du temps nécessaire avant la prochaine Conférence Générale pour rassembler des données suffisantes pour le choix

d'une longueur d'onde déterminée, on devrait préparer une résolution dans les termes suivants :

« Que le Comité International soit invité à recommander à la Dixième Conférence Générale le principe d'une définition du mètre basée sur une longueur d'onde lumineuse et que pouvoir soit donné au Comité International de sanctionner une telle définition dès qu'il en aura trouvé une qui soit satisfaisante. »

3. Discussion sur la meilleure manière de maintenir la continuité avec le mètre actuel, peut-être par la méthode mentionnée au paragraphe 2 de la « Discussion générale » ci-dessus.

4. Propositions concrètes quant aux expériences nécessaires pour rendre possible le choix de la meilleure longueur d'onde. Parmi les expériences les plus importantes qui viennent à l'esprit, on peut citer : la comparaison des avantages respectifs des radiations émises par les lampes actuelles à isotope unique; la réalisation de lampes nouvelles; la détermination de l'importance des variations de la longueur d'onde moyenne en fonction de la différence de marche, etc.

5. Considérations sur les mesures pratiques nécessitant des étalons secondaires, la connaissance des éléments de réduction aux conditions normales, l'exécution de comparaisons entre différents types d'étalons, etc.

ANNEXE M 8.

National Research Council (Canada).

PROPOSITIONS SOUMISES A L'ATTENTION

DU COMITÉ CONSULTATIF
POUR LA DÉFINITION DU MÈTRE

par K. M. BAIRD.

(Traduction.)

Selon l'opinion du National Research Council, si l'on examine la question de la redéfinition du mètre, telle qu'elle a été discutée par les divers Membres du Comité Consultatif, les points importants suivants peuvent être dégagés.

1. On peut décider immédiatement de redéfinir le mètre en fonction d'une longueur d'onde lumineuse. Il est maintenant suffisamment prouvé qu'une telle définition serait à la fois la plus précise et la plus satisfaisante.

2. On peut prendre immédiatement une décision sur les principes de la nouvelle définition et sur la procédure à suivre pour la rattacher à celle du Mètre international actuel. Il ne manque pour cela qu'un accord sur quelques points conventionnels.

3. On ne peut pas décider immédiatement quelle raie spectrale particulière sera choisie, parce que les résultats expérimentaux ne sont pas suffisants pour que l'on soit certain du choix le meilleur.

Il paraît clair, d'après les points précédents, que la meilleure action pour le Comité Consultatif est de recommander que les décisions mentionnées en 1 et 2 ci-dessus soient sanctionnées immédiatement, laissant pour une date ultérieure le choix d'une raie particulière. Si l'on suivait cette recommandation, cela aurait une grande valeur pour hâter une redéfinition finale du mètre. Ajourner les deux premières décisions ne mènerait à rien, pour la raison qu'il existe déjà suffisamment d'éléments d'information et qu'il ne reste plus à prendre que des décisions conventionnelles. D'autre part, on ne saurait trop mettre en valeur l'intérêt d'un accord immédiat sur tout ce qui peut favoriser une redéfinition du mètre, excepté le choix d'une raie particulière, car on donnerait ainsi à la recherche l'orientation nécessaire pour franchir ce dernier pas. Les savants et les Laboratoires nationaux auraient alors une base de travail pour l'obtention des résultats nécessaires à l'établissement de la nouvelle définition.

En conséquence il est suggéré que le Comité International reçoive le conseil de soumettre à la Dixième Conférence Générale une résolution, selon les termes suivants :

« Dans l'état actuel de nos connaissances, une longueur peut être définie avec la meilleure précision et de la façon la plus satisfaisante par la longueur d'onde d'une radiation visible. La sanction d'une telle définition du mètre serait considérablement facilitée par l'adoption immédiate : *a.* des principes à suivre et *b.* de la procédure pour assurer la continuité avec le Mètre actuel.

Par conséquent la Conférence Générale adopte ce qui suit :

1. Le principe d'une redéfinition du mètre en fonction d'une longueur d'onde lumineuse dans le vide est accepté.

2. La longueur d'onde doit être spécifiée par la transition d'énergie correspondante dans des atomes d'un isotope unique, ayant une masse atomique paire, et au repos par rapport à l'observateur.

3. La longueur d'onde doit être reliée au prototype actuel du mètre de la façon suivante : la relation entre la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium et le mètre, sanctionnée par la Septième Conférence Générale, doit être conservée; la longueur d'onde

dans le vide de la raie rouge du cadmium doit être calculée en utilisant la formule de dispersion recommandée par la Commission Mixte de Spectroscopie (Rome, 1952); la nouvelle raie étalon devra être comparée dans le vide à la raie rouge du cadmium.

4. La longueur d'onde convenable devra être désignée aussitôt que des recherches suffisantes auront permis de décider avec une certitude raisonnable qu'elle est la meilleure. »

Le National Research Council pense que cette résolution fournit dès maintenant une action constructive qui va aussi loin que le justifient les résultats connus. Pour la pratique scientifique elle est équivalente à sanctionner la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium comme étalon intermédiaire ainsi que cela a été suggéré par l'U. R. S. S.; cependant elle évite l'inconvénient d'exiger des pays participants qu'ils changent la définition légale de leur unité de longueur, jusqu'à ce que l'on puisse choisir une définition par une longueur d'onde qui ait des chances d'être maintenue pendant de nombreuses années. La résolution se conforme également à la proposition du Dr Engelhard, qui tend à spécifier le Mètre international par une transition d'énergie plutôt que par une lampe particulière.

En conclusion, on doit souligner que la résolution ci-dessus constituerait une action beaucoup plus efficace que celle qui se bornerait à donner au Comité International le pouvoir de sanctionner une définition lorsqu'il le jugerait opportun. Cette dernière procédure n'apporterait rien en vue de clarifier dès maintenant une situation depuis trop longtemps indécise.

(31 juillet 1953.)

ANNEXE M 9.

National Bureau of Standards (États-Unis d'Amérique).

QUESTIONS SUGGÉRÉES

POUR ÊTRE INSCRITES A L'ORDRE DU JOUR
DU COMITÉ CONSULTATIF
POUR LA DÉFINITION DU MÈTRE

(Traduction.)

1. Le Mètre étalon sera-t-il défini en fonction d'une longueur d'onde dans l'air sous des conditions normales, ou en fonction d'une longueur d'onde dans le vide ?

2. Si une longueur d'onde dans le vide doit servir d'étalon, adoptera-t-on, comme formule normale pour l'indice de réfraction de l'air, l'une des formules actuelles [formule d'Edlén recommandée par la Commission Mixte de Spectroscopie, Rome, 1952 (1)] et :

a. Réduira-t-on, au moyen de cette formule, les valeurs des longueurs d'onde dans l'air aux valeurs dans le vide, ou

b. Basera-t-on la valeur définitive à adopter sur des mesures de longueurs d'onde faites dans le vide ?

3. Est-il souhaitable :

a. D'effectuer des déterminations directes de la longueur du mètre en fonction de plusieurs longueurs d'onde, comme cela fut fait par Michelson, ou

(1) H. BARRELL, *J. Opt. Soc. Amer.*, t. 41, 1951, p. 295.

b. Retiendra-t-on comme exacte la longueur du mètre en fonction de la raie rouge du cadmium dans l'air ($\lambda = 0,643\ 846\ 96\ \mu$; $1\ m = 1\ 553\ 164,13\ \lambda$) et comparera-t-on spectroscopiquement les longueurs d'onde des autres radiations sélectionnées avec la longueur d'onde de la raie du cadmium ?

(Notons que l'une ou l'autre des deux procédures suggérées par la question 2 est applicable à chaque procédure de la présente question.)

4. Arrêtera-t-on à cette réunion le choix de l'élément et de l'isotope particuliers à utiliser en définitive comme source étalon, ou fera-t-on des mesures sur deux ou plusieurs sources et fixera-t-on finalement son choix après que chacun ait pu faire des expériences avec les différentes sources considérées ?

5. Si l'on doit étudier deux ou plusieurs sources pendant les étapes préliminaires, procédera-t-on, en dernier lieu, à un ajustement statistique pour mettre l'ensemble des résultats en accord avec la valeur $\lambda = 0,643\ 846\ 96\ \mu$ pour la raie rouge du cadmium dans l'air et avec le principe de combinaison, comme le suggère Meggers (1) ?

6. Peut-on arriver à un accord sur les mesures qui restent à faire par les différents Laboratoires et sur la date probable de la prochaine réunion du Comité Consultatif ?

7. On devrait envisager de présenter au Comité International une résolution recommandant que la Dixième Conférence Générale, prévue pour 1954, soit sollicitée de donner pouvoir au Comité International pour sanctionner une nouvelle définition du mètre aussitôt qu'une définition acceptable sera formulée. Si la proposition de présenter une telle résolution était acceptée, on devrait, dès la prochaine réunion du Comité Consultatif, prendre des dispositions pour la rédaction et la présentation de cette résolution.

(30 janvier 1953.)

(1) *J. Opt. Soc. Amer.*, t. 40, 1950, p. 737.

ANNEXE M 10.

National Physical Laboratory (Grande-Bretagne).

QUESTIONS SUGGÉRÉES POUR LA DISCUSSION

PAR LE COMITÉ CONSULTATIF
POUR LA DÉFINITION DU MÈTRE

1. La définition actuelle du mètre au moyen d'un étalon à traits :

1.1. Précision des comparaisons et perspectives d'amélioration au delà de $\pm 0,1 \mu$.

1.2. Avantages et inconvénients de la définition par un étalon à traits; stabilité de la barre, qualité et permanence des traits gravés.

1.3. Importance des étalons à bouts modernes dans le contrôle des mesures de longueur en mécanique de précision.

1.4. Précision du passage des mesures à traits aux mesures à bouts (et vice versa).

2. La définition du mètre en fonction de la longueur d'onde d'une radiation lumineuse monochromatique :

2.1. Précision de la réalisation des étalons pratiques de longueur à traits ou à bouts, à partir de la définition en longueur d'onde.

2.2. Avantages et inconvénients d'une définition en longueur d'onde.

2.3. Application directe à la mesure interférométrique des étalons à bouts.

2.4. Ressources en équipement interférométrique pour les mesures de longueur dans tous les États adhérents à la *Convention du Mètre*.

2.5. Possibilité de développement des méthodes pour la mesure directe des étalons à traits, éliminant ainsi la nécessité d'avoir recours à la méthode de passage précitée.

2.6. Nécessité pour le Bureau International de posséder les moyens appropriés pour la réalisation de la définition en longueur d'onde — dans les formes pratiques d'un étalon à traits et d'un étalon à bouts — afin de satisfaire les demandes des pays qui ne possèdent pas les ressources d'un laboratoire métrologique moderne.

3. *Méthode d'établissement de la définition du mètre par une longueur d'onde :*

3.1. Importance de conserver comme base du passage à une définition en longueur d'onde, la relation actuellement admise entre le mètre et la longueur d'onde dans l'air normal de la radiation rouge du cadmium, c'est-à-dire $\lambda_R = 6438,4696.10^{-10}$ m, qui a été expérimentalement confirmée par neuf déterminations indépendantes (ceci maintient la définition actuelle de l'ångström).

3.2. Avantages et inconvénients d'une définition en fonction de la longueur d'onde *dans le vide* de la radiation choisie.

3.3. Examen de la précision obtenue dans les déterminations publiées de la réfraction et de la dispersion de l'air normal dans le spectre visible et de la nécessité ou non d'effectuer de nouvelles déterminations pour établir une équation de dispersion générale satisfaisante pour l'air dans cette région.

3.4. Examen de la proposition visant à établir une définition du mètre par une longueur d'onde par l'intermédiaire de la longueur d'onde *dans le vide* de la radiation rouge du cadmium, c'est-à-dire que la longueur d'onde *dans le vide* de la radiation étalon de référence choisie serait déterminée par des comparaisons directes avec la longueur d'onde *dans le vide* de la radiation du cadmium calculée à partir de l'expression $\lambda_R n_R$ où λ_R est la

valeur, citée ci-dessus, de la longueur d'onde du cadmium dans l'air normal d'indice de réfraction n_R obtenu à partir de l'équation de dispersion admise.

4. Choix d'une radiation appropriée comme étalon de référence; spécification de la source et du mode d'excitation :

4.1. Choix parmi les radiations émises par des isotopes purs de masse atomique paire (spin nucléaire zéro), comme par exemple le krypton 84 et le mercure 198.

4.2. Examen des modes d'excitation les plus appropriés pour obtenir la pureté spectroscopique la plus élevée.

4.3. Disponibilité et vie des lampes à isotope actuelles.

4.4. Examen des améliorations possibles aux lampes à isotope actuelles, particulièrement l'influence de la réduction de l'élargissement Doppler des raies du mercure 198 par excitation à température très basse (comme avec le meilleur type de lampe à krypton 84 actuellement en usage).

(Décembre 1952.)

ANNEXE M 11.

Central Inspection Institute of Weights and Measures (Japan)

SUR LA DÉFINITION DU MÈTRE
PAR UNE LONGUEUR D'ONDE LUMINEUSE

1. Nous sommes d'accord en principe pour définir le mètre en fonction d'une longueur d'onde lumineuse.
2. La nouvelle définition du mètre devra satisfaire aux conditions suivantes :
 - 2.1. La nouvelle définition ne devra pas changer la longueur du mètre telle qu'elle est définie actuellement par le Prototype international.
 - 2.2. La nouvelle définition devra être assez claire et complète pour que l'incertitude sur la longueur du mètre soit inférieure à 10^{-8} en valeur relative.
 - 2.3. La nouvelle définition devra permettre de reproduire la longueur d'un mètre, dans les laboratoires bien équipés, avec une précision relative de 10^{-8} .
3. Avant d'adopter une nouvelle définition, on devra discuter à fond les questions techniques soulevées par les conditions du paragraphe 2. Notre position à ce sujet est la suivante :
 - 3.1. Nous considérons qu'il n'est guère nécessaire de déterminer le rapport entre la longueur du Prototype international du mètre et la longueur d'onde qui sera adoptée comme étalon fondamental, parce que les traits de ce Prototype ne paraissent pas définir sa longueur avec une précision relative atteignant 10^{-8} .

- 3.2. Pour éviter toute discontinuité dans l'unité de longueur, nous ne voyons aucun inconvénient à déterminer la longueur de l'onde lumineuse qui sera choisie comme étalon fondamental en se basant sur la longueur d'onde de la radiation rouge du cadmium et en gardant pour cette dernière la valeur acceptée de $643,846\ 96 \cdot 10^{-9}$ m dans les conditions normales.
 - 3.3. Conformément au paragraphe 2.2 demandant la clarté de la définition, le mètre devra être défini en fonction d'une longueur d'onde lumineuse *dans le vide*.
 - 3.4. Les résultats acquis jusqu'ici ne nous paraissent pas encore suffisants pour fixer de façon définitive quelle radiation émise par un isotope devra servir à définir le mètre.
 - 3.5. Les spécifications concernant la source de lumière devront être claires, sans être d'une rigueur qui rendrait difficile la réalisation. De plus, ces spécifications ne doivent pas être de nature à entraver les progrès auxquels on peut s'attendre dans l'avenir. En ce sens, la proposition 2.1.2 de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt mérite d'être considérée.
 - 3.6. Le mètre devant être défini par une longueur d'onde lumineuse dans le vide, il faudra, pour que l'on puisse effectuer la plupart des mesures pratiques dans l'air, spécifier la formule de l'indice de l'air avec une précision relative atteignant 10^{-8} .
4. Lorsqu'on adoptera la nouvelle définition du mètre, on devra prendre les dispositions suivantes :
 - 4.1. On devra choisir et spécifier les caractéristiques des étalons matériels qui seront utilisés pour déterminer la reproductibilité de la définition du mètre dans les divers laboratoires.
 - 4.2. La longueur de ces étalons matériels devra être déterminée dans les divers laboratoires en se basant sur la nouvelle définition, et le Bureau International des Poids et Mesures devra comparer ces étalons entre eux.
-

ANNEXE M 12.

Chambre Centrale des Mesures
et Instruments de Mesure (U. R. S. S.)

PROPOSITIONS SOUMISES

AU COMITÉ CONSULTATIF
POUR LA DÉFINITION DU MÈTRE

1. L'U. R. S. S., étant l'un des initiateurs de l'adoption de la longueur d'onde lumineuse comme base des mesures linéaires à la place de l'étalon à traits, a déjà exposé son point de vue à la Neuvième Conférence Générale des Poids et Mesures (1948).

2. Les propositions faites à la Conférence Générale sont jusqu'à présent soutenues par l'U. R. S. S.

3. Après l'étude par les Laboratoires nationaux, dont l'Institut de Métrologie du nom de Mendéléev, des questions discutées par la Neuvième Conférence Générale, on peut introduire à présent dans les propositions faites auparavant une précision qui permet non seulement de recommander la décision de principe, mais aussi d'affirmer que des travaux avec les isotopes sont préférables.

En qualité de pareil isotope et d'après l'opinion de l'Institut de Métrologie, il est utile de prendre l'isotope ^{114}Cd , en admettant pour la longueur d'onde de sa raie rouge dans le vide la valeur :

$$\lambda = 0,644\ 024\ 78 \cdot 10^{-6} \text{ mètre.}$$

4. Pour la reproduction de la raie spectrale fondamentale, on adopte le règlement spécial ci-après :

Règles pour la reproduction de la longueur d'onde lumineuse
de la raie spectrale fondamentale.

1. La raie rouge du cadmium reste comme raie spectrale fondamentale.

2. La valeur de la longueur d'onde de la raie rouge de l'isotope ^{114}Cd dans le vide est posée égale à :

$$\lambda = 0,644\ 024\ 78 \cdot 10^{-6} \text{ mètre.}$$

3. La longueur d'onde de la raie rouge du cadmium 114 peut être reproduite par différents types de sources lumineuses (à l'exception de celles dans lesquelles il y a un mouvement orienté des atomes émetteurs dans la direction d'observation) contenant l'isotope 114 du cadmium, en observant les conditions suivantes :

a. la raie rouge du cadmium émise par la source donnée doit être exempte de renversement;

b. la visibilité des franges d'interférence, définie par le rapport $V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$, ne doit pas être inférieure à 0,55.

4. L'observation des conditions exposées dans le paragraphe 3 est contrôlée par l'étude microphotométrique de la figure d'interférence obtenue à l'aide d'un étalon de Fabry et Perot de 100 mm, dont les miroirs possèdent un coefficient de réflexion compris entre 92 et 94%.

Note. — La valeur de la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium 114 est déterminée par comparaison avec la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium naturel dans l'air normal :

$$\lambda = 0,643\ 846\ 96 \cdot 10^{-6} \text{ mètre.}$$

ANNEXE M 13

Chambre Centrale des Mesures
et Instruments de Mesure (U. R. S. S.)

DE LA POSSIBILITÉ D'UTILISER
LA RADIATION DES ISOTOPES STABLES PAIRS
DU CADMIUM POUR LA REPRÉSENTATION
DE L'UNITÉ DE LONGUEUR

Note de N. R. BATARCHOUKOVA, A. I. KARTACHEV
et M. F. ROMANOVA

(*Rapports de l'Académie des Sciences de l'U. R. S. S.*,
Nouvelle série, 1953, t. 90, n° 2)

(Traduction)

Dans ces dernières années, le développement des méthodes de mesures interférentielles des longueurs a permis de reconsidérer la question de l'unité « naturelle » de longueur sous la forme d'une longueur d'onde lumineuse.

Pour atteindre la plus grande précision possible dans la reproduction de l'unité de longueur, la raie spectrale dont la longueur d'onde servira à définir la longueur du mètre, doit être simple et avoir une largeur qui s'approche autant que possible de sa largeur naturelle. Les raies simples sont émises par les isotopes pairs des éléments ou bien elles peuvent être isolées des raies complexes par la méthode de monochromatisation interférentielle [1]. Quant à la finesse de la raie spectrale, elle est liée

principalement à la construction de la source lumineuse émettrice de cette raie.

Les études atomiques de ces dernières années ont créé des méthodes pour la production des isotopes purs, pairs et stables des éléments et, par là même, ont pourvu les métrologistes et les spectroscopistes de radiations simples. Actuellement on a déjà étudié une série de telles radiations. Toutes les raies du spectre de l'isotope du mercure ^{198}Hg [2], la raie 5461 Å de l'isotope ^{202}Hg [3] et plusieurs raies des spectres des isotopes du krypton ^{84}Kr et ^{86}Kr [4] sont déjà étudiées. Cependant aucune de ces raies n'a encore été préférée définitivement et, pour les mesures interférentielles de longueur ainsi que pour la spectroscopie, la raie rouge du cadmium naturel, proposée par Michelson en 1895, reste toujours comme raie spectrale principale.

Le présent travail a eu pour but l'étude de la reproductibilité des longueurs d'onde des raies rouges, émises par les isotopes stables pairs du cadmium ^{112}Cd , ^{114}Cd et ^{116}Cd .

Pour une petite quantité de matière étudiée (quelques milligrammes) le tube du type sans électrode est la source lumineuse la plus commode et la plus facilement réalisable dans les conditions du laboratoire. La décharge lumineuse est excitée dans le tube par un champ de haute fréquence de l'ordre de 50 à 200 MHz. Les tubes semblables qui contiennent ordinairement de petites quantités de matière étudiée (1 à 3 mg) sont remplis de gaz étrangers sous faible pression (0,1 à 3 mm de mercure) pour faciliter l'excitation et l'entretien de la décharge.

Nous avons préparé pour cette étude quelques tubes en verre au molybdène, contenant du ^{112}Cd , ^{114}Cd et ^{116}Cd , ainsi qu'un tube avec du cadmium naturel. Ces tubes, excités par un générateur de haute fréquence (60 à 70 MHz) donnaient, quant à leur éclat, une luminosité très satisfaisante. En qualité de gaz étranger on ajoutait de l'argon ou de l'hydrogène sous une pression de 0,1 à 5 mm de mercure. Comme on sait, la tension de vapeur du cadmium n'est suffisante pour exciter son spectre visible qu'à la température d'environ 300° C, c'est pourquoi le tube était placé dans un réchauffeur de petites dimensions, spécialement construit dans ce but. Le contrôle de la température à l'intérieur du réchauffeur permettait d'éviter complètement les phénomènes de renversement dans les raies du cadmium.

Pour l'étude des propriétés monochromatiques des raies spectrales et la définition de leur longueur d'onde, la méthode la plus répandue en spectroscopie et en métrologie est celle qui consiste à observer dans l'interféromètre l'image interférentielle des anneaux d'égalé inclinaison avec des différences de marche variées. C'est cette méthode d'enregistrement photographique des anneaux d'égalé inclinaison obtenus à l'aide de l'étalon interférentiel du type Fabry et Perot à disques interchangeable en quartz, avec des épaisseurs de 16, 30, 47, 79 et 100 mm, que nous avons employée dans notre étude.

Dans l'image interférentielle des anneaux d'égalé inclinaison avec la radiation des isotopes pairs du cadmium ^{112}Cd , ^{114}Cd et ^{116}Cd et pour des étalons interférentiels d'épaisseur différente,



Fig. 1.

on n'a découvert, pour aucune des raies, la présence de structure hyperfine. Comme exemple, une photographie des anneaux interférentiels d'égalé inclinaison pour la raie verte du cadmium est reproduite en agrandissement. La photographie (a) correspond au rayonnement du cadmium naturel et (b) au rayonnement du ^{114}Cd . L'absence sur la photographie (b) des maxima interférentiels secondaires qui correspondent à la structure hyperfine de la raie, démontre avec évidence la simplicité des raies du cadmium isotopique.

Lors de la détermination des longueurs d'onde de la raie rouge des isotopes du cadmium cités, on prenait successivement des photographies des spectrogrammes interférentiels des tubes sans électrode contenant un isotope du cadmium, puis de la lampe à électrodes incandescentes contenant du cadmium naturel. La raie rouge du cadmium naturel, émise par une lampe à électrodes incandescentes, fut prise par nous comme principale et la longueur de son onde dans l'air normal égale à 6438,4696 Å.

Les mesures des diamètres des anneaux d'égalé inclinaison dans

les lumières de la raie rouge du cadmium isotopique et naturel ont été faites sur dix spectrogrammes interférentiels. D'après les diamètres des cinq premiers anneaux d'égale inclinaison on pouvait calculer les excédents fractionnaires de l'ordre d'interférence, E_1 pour la raie du cadmium naturel et E_2 pour la raie rouge des isotopes isolés du cadmium. D'après les différences des valeurs des excédents fractionnaires de l'ordre d'interférence se rapportant à la raie rouge du cadmium isotopique et du cadmium naturel ($\Delta p = E_2 - E_1$), on a calculé les longueurs d'onde correspondant aux diverses différences de marche des faisceaux interférents. Dans le tableau I sont données les valeurs des longueurs d'onde de la raie rouge des isotopes du cadmium pour diverses différences de marche dans l'interféromètre, la valeur moyenne pondérée des longueurs d'onde, et les erreurs quadratiques moyennes de cette valeur pondérée.

TABLEAU I.

Différence de marche 2 d (mm).	λ rouge (Å).		
	^{112}Cd	^{114}Cd	^{116}Cd
32,958.....	6438,4695	6438,4671	6438,4662
60,576.....	4693	4676	4669
93,880.....	4688	4675	4662
158,060.....	4692	4678	4664
200,000.....	4689	4677	
Moyenne pondérée.	6438,4690	6438,4677	6438,4664
Erreur moyenne quadratique.....	$\pm 0,0001_2$	$\pm 0,0000_9$	$\pm 0,0001_4$

Pour le calcul de la valeur moyenne pondérée des longueurs d'onde nous avons admis que les poids étaient proportionnels aux différences de marche, car l'erreur relative de la détermination des longueurs d'onde diminue avec l'accroissement de la différence de marche. Il faut noter que la valeur de la longueur d'onde de la raie rouge pour l'isotope ^{114}Cd est obtenue en fonction des valeurs moyennes de longueurs d'onde pour trois tubes. La grandeur de l'erreur quadratique de la moyenne pondérée caractérise la précision de la reproduction des longueurs d'onde. Cette haute précision dans la détermination de la longueur d'onde

a été obtenue avec un nombre d'observations relativement petit (5 à 15).

Les résultats de la comparaison des longueurs d'onde des raies rouges des isotopes avec la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium naturel peuvent être représentés en graphique si l'on porte sur l'axe horizontal les valeurs des différences de marche $2d$ en millimètres et sur l'axe vertical les différences entre les excédents fractionnaires du nombre de demi-ondes qui entrent dans la longueur de l'étalon pour les isotopes et pour le cadmium naturel. En comparant les raies simples, on voit que les différences entre excédents fractionnaires sont proportionnelles aux différences de marche et que les points correspondants, ainsi que le montre la figure 2, sont alignés sur des droites dans les limites des erreurs d'observation. Les points se rapportant aux radiations des divers isotopes sont alignés sur des droites inclinées par rapport à l'axe horizontal sous des angles divers, tandis que les points se rapportant au rayonnement du tube contenant du cadmium naturel sont rangés sur l'axe horizontal. Ceci prouve d'une part la présence d'un déplacement des longueurs d'onde de la raie rouge du cadmium isotopique et la coïncidence des centres de gravité de la raie rouge du cadmium naturel dans une décharge sans électrode et dans la lampe à électrodes chaudes d'autre part. Les écarts observés des longueurs d'onde sont en réalité des écarts isotopiques et ne sont pas produits par les conditions d'excitation de la raie rouge dans la décharge sans électrode. Comme on le voit sur le graphique (*fig. 2*), le plus grand écart de la longueur d'onde vers le violet correspond à l'isotope le plus lourd ^{116}Cd et l'écart minimum, à l'isotope le plus léger ^{112}Cd . Les masses successives des trois isotopes pairs du cadmium étudiés (^{112}Cd , ^{114}Cd et ^{116}Cd), diffèrent de deux unités et les composantes de la raie rouge, qui correspondent à ces isotopes, sont régulièrement échelonnées avec un intervalle de 0,0013 Å. Les écarts isotopiques observés confirment encore une fois l'existence de la structure hyperfine de la raie rouge du cadmium naturel [5].

Nous avons préparé pour l'isotope ^{114}Cd quelques tubes avec des pressions différentes du gaz étranger. Les études des rayonnements de ces tubes ont montré qu'il existe certainement un déplacement du maximum de la raie rouge avec la pression vers les ondes longues, mais sa grandeur ne dépasse pas 0,0001 Å par millimètre de mercure.

Dans la pratique des mesures interférentielles de longueur, le spectre des isotopes pairs du cadmium, avec ses raies largement séparées et facilement isolées, est commode pour la recherche de l'ordre d'interférence par la méthode des coïncidences. C'est pourquoi la source lumineuse à raies simples du cadmium, étudiée

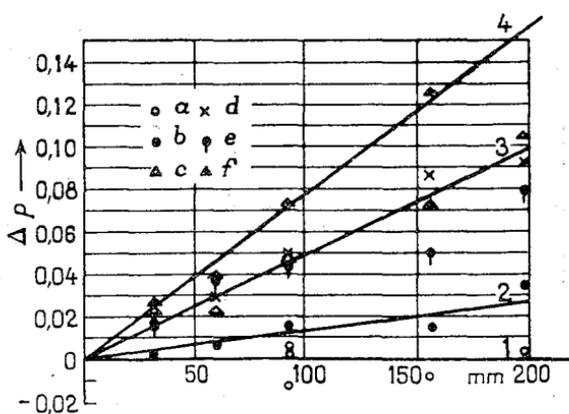


Fig. 2. — En abscisses, différence de marche.

1. 6438,4696 Å.
2. λ rouge ^{112}Cd = 6438,4690 Å.
3. λ rouge ^{114}Cd = 6438,4677 Å.
4. λ rouge ^{116}Cd = 6438,4664 Å.
- a. Lampe n° 1, Cd naturel.
- b. Lampe n° 10, ^{112}Cd .
- c. Lampe n° 3, ^{114}Cd .
- d. Lampe n° 5, ^{114}Cd .
- e. Lampe n° 6, ^{114}Cd .
- f. Lampe n° 9, ^{116}Cd .

par nous, peut être employée avec succès dans ces mesures.

En vertu du travail accompli, nous croyons possible de proposer comme raie spectrale principale la raie rouge du cadmium, émise par n'importe lequel des trois isotopes ^{112}Cd , ^{114}Cd ou ^{116}Cd , tout en fixant notre choix sur ^{114}Cd .

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] N. R. BATARCHOUKOVA, *Travaux de l'Institut de Métrologie de l'U. R. S. S.*, t. 7, (67), 1949, p. 41.
 - [2] MEGGERS et WESTFALL, *Bur. Stand. J. Res.*, t. 44, 1950, p. 447.
 - [3] J. R. McNALLY, P. M. GRIFFIN et L. E. BURKHART, *J. Opt. Soc. Amer.*, t. 39, 1949, p. 1036.
 - [4] KÖSTERS et ENGELHARD, *Proc. Verb. Com. Int. Poids Mesures*, t. 22, 1950, p. 137.
 - [5] M. F. ROMANOVA et A. A. FERCHMIN, *Rapports de l'Académie des Sciences de l'U. R. S. S.*, t. 55, n° 2, 1933.
-

ANNEXE M 14.

Bureau International des Poids et Mesures.

ÉTUDE D'UN ÉTALON EN QUARTZ DE 100 mm
TÉMOIN DE
L'UNITÉ MÉTRIQUE INTERNATIONALE

par J. TERRIEN.

En 1907, le Comité International des Poids et Mesures a décidé que « le Directeur du Bureau sera chargé... d'acquérir plusieurs étalons à bouts en quartz de dimensions différentes, afin de déterminer directement ces dimensions en fonction de la longueur d'onde, toutes les fois que l'on répétera la comparaison de celle-ci avec le mètre ». Ces étalons en quartz, dont les extrémités sont planes, parallèles et perpendiculaires à l'axe cristallographique, ont été construits par les Établissements Jobin; leur longueur est de 10, 20, 30, 40, 50, 100 mm.

Dans les années comprises entre 1920 et 1925, A. Pérard a mesuré, par des méthodes interférentielles, la longueur de ces étalons; ces expériences et leurs résultats sont exposés dans les *Travaux et Mémoires du Bureau International des Poids et Mesures*, t. 20, 1944. L'étalon de longueur était la longueur d'onde de la raie rouge du cadmium, 0,643 846 96 μ , dans l'air normal.

Ces expériences initiales de A. Pérard ont conduit à la longueur suivante, à 20°C, de l'étalon de 100 mm :

(1) $Q_{100} = 100\ 002,467\ \mu.$

En 1952, N. Cabrera et J. Hamon ont étudié à nouveau l'étalon en quartz de 100 mm, par une méthode semblable à celle qu'avait employée A. Pérard. L'étalon de longueur était la raie verte du mercure 198, dont la longueur d'onde a été comparée à celle du cadmium rouge par A. Pérard et J. Terrien. La température du quartz pendant ces mesures était comprise entre 19,55 et 20,25° C. La longueur moyenne de l'étalon en quartz, réduite à 20° C par la formule de dilatation déduite de ces dernières mesures, est la suivante :

$$(2) \quad Q_{100} = 100\,002,497 \mu.$$

En 1953, de nouvelles mesures ont été effectuées par J. Terrien et J. Hamon, sur le même étalon, par la même méthode, entre 15,1 et 24,8° C. On a déduit de ces mesures une nouvelle formule de dilatation et la longueur suivante à 20° C :

$$(3) \quad Q_{100} = 100\,002,482 \mu.$$

Cette dernière valeur est égale à la moyenne des deux précédentes; les écarts de $\pm 0,015 \mu$ peuvent être considérés comme des erreurs expérimentales provenant en partie des erreurs des mesures interférentielles et en partie des mesures de la température du quartz. Rappelons que l'allongement de l'étalon de quartz de 100 mm est $0,015 \mu$ pour une élévation de température de 0,02 degré; l'incertitude sur la température du quartz paraît être, dans toutes ces expériences, inférieure à $\pm 0,01$ degré, ce qui entraîne une incertitude inférieure à $0,008 \mu$ sur la longueur.

La longueur de l'étalon de quartz de 100 mm à 20° C est donc restée constante, en fonction des longueurs d'onde, avec une approximation relative de $0,15 \cdot 10^{-6}$.

Ces résultats paraissent satisfaisants; on ne peut affirmer que la longueur du quartz, comparée à la longueur d'onde, ait varié pendant ces trente dernières années.

La comparaison détaillée de tous les résultats montre pourtant une dispersion un peu supérieure aux erreurs estimées, atteignant au maximum $\pm 0,03 \mu$. Cette constatation nous incite à considérer comme provisoires les expériences de 1952 et 1953, et à envisager de nouvelles mesures après une étude approfondie des causes d'erreurs.

(Septembre 1953.)

Bureau International des Poids et Mesures.

PRINCIPE D'UNE MÉTHODE POUR COMPARER UN MÈTRE A TRAITS A UNE LONGUEUR D'ONDE

par J. TERRIEN.

On constitue un étalon matériel par deux blocs transparents parallélépipédiques, parallèles, séparés par une distance d'environ 1 m. Cet étalon peut être comparé au Mètre prototype et à une longueur d'onde, car il est en même temps un étalon à traits et un étalon optique de Perot-Fabry, comme nous allons le montrer.

1. COMPARAISON AU MÈTRE PROTOTYPE. — Chaque bloc porte un trait T sur sa face inférieure. Dans le microscope d'un comparateur, on observe l'image virtuelle T' de ce trait, qui est relevée par réfraction dans le verre et occupe une position fixe par rapport au bloc. La distance l des deux images virtuelles T' est comparée au prototype à traits par les méthodes habituelles (*fig. 1*).

2. COMPARAISON A UNE LONGUEUR D'ONDE. — On sait mesurer en longueurs d'onde la distance des deux miroirs parallèles d'un étalon intermédiaire de Perot-Fabry d'au moins 0,25 m, en utilisant les anneaux à l'infini. Partant de cet étalon intermédiaire, on mesure, par les franges de superposition en lumière blanche, la distance m des faces en regard des deux blocs transparents, à la hauteur des images T'. On connaît ainsi,

en longueurs d'onde, la distance optique (distance mécanique modifiée par les pertes de phase) de ces deux faces.

3. COMPARAISON DU MÈTRE A UNE LONGUEUR D'ONDE. — Les mesures 1 et 2 ci-dessus étant faites, on constitue un nouvel étalon après avoir retourné chaque bloc transparent d'un demi-tour, de façon à permuter les faces planes qui encadrent le trait de chacun d'eux; et l'on recommence les mesures 1 et 2.

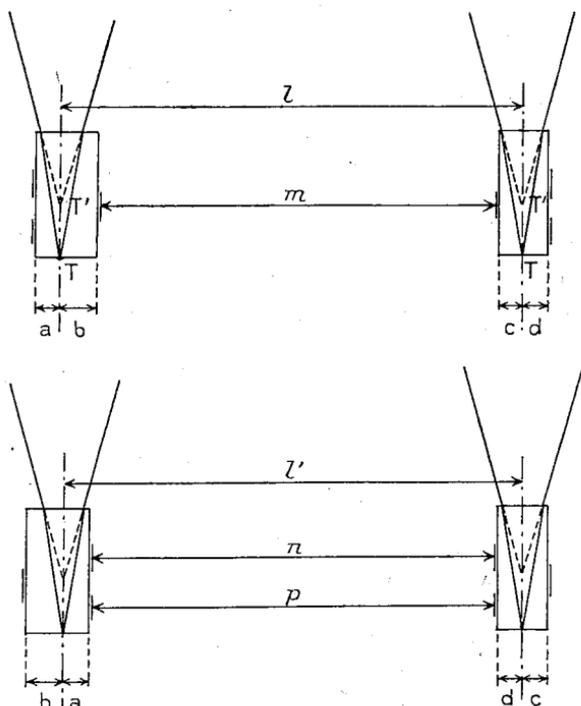


Fig. 1.

$$l + l' = m + \frac{n + p}{2} + a + b + c + d.$$

l et l' sont comparés à un Mètre à traits.

m , n et p sont comparés à un étalon optique connu en longueurs d'onde.

$a + b$ et $d + c$ sont mesurés en longueurs d'onde.

La somme des résultats l et l' des deux opérations 1 est la mesure d'une certaine longueur en fonction du Mètre prototype.

La somme des résultats m et $\frac{n+p}{2}$ des deux opérations 2, augmentée de la somme des épaisseurs des deux blocs $a + b + c + d$, est la mesure de la même longueur en fonction d'une longueur d'onde. Leur rapport est donc égal au rapport du mètre à cette longueur d'onde.

Remarquons que l'épaisseur des blocs transparents est facilement mesurable par des méthodes interférentielles, qui font encore intervenir les surfaces optiques. Il est donc inutile de connaître les pertes de phase.

Remarquons encore que les surfaces interférentielles sont des surfaces de verre (ou de silice) métallisées, dont les qualités de planéité et de poli surpassent celles des surfaces d'acier; et enfin que l'on évite les petites incertitudes provenant du degré de fidélité des collages par adhérence qui interviennent dans la plupart des méthodes en usage pour comparer un étalon à bouts et un étalon à traits.

(Septembre 1953.)

ANNEXE M 16.

Bureau International des Poids et Mesures.

RÉSULTATS DES INTERCOMPARAISONS
DES MÈTRES N^{os} 13, 13 C, 19, 26 ET T 4,
EN 1939-1944 ET EN 1953

par CH. VOLET.

Les Mètres ayant participé à cette étude ont tous été rénovés. Leurs tracés ne sont pas encore parfaits, mais leur qualité est supérieure à celle des Mètres anciens analogues au Prototype international.

Le but des mesures actuelles était de reconnaître si des comparaisons effectuées entre des prototypes modernes, à dix années d'intervalle et par d'autres observateurs, conduisaient aux mêmes valeurs relatives des Mètres.

Les résultats de 1939-1944, cités ci-après, sont déduits de divers groupes d'importantes comparaisons auxquelles ont pris part six observateurs différents.

Les mesures de 1953 ont été effectuées par quatre observateurs qui ont exécuté chacun des comparaisons dans toutes les combinaisons possibles des cinq Mètres, chaque comparaison de deux Mètres étant la moyenne de huit séries de pointés. Parmi ces quatre observateurs, deux (Terrien et Moreau) avaient déjà participé à une partie des comparaisons de 1939-1944, un autre (Leclerc) est aussi un observateur expérimenté et le quatrième (J. Bonhoure) se servait d'un comparateur pour la première fois.

Le tableau suivant donne la valeur de chacun des Mètres exprimée par rapport à la valeur moyenne des cinq Mètres.

	Observateurs.	N° 13.	N° 13 C.	N° 19.	N° 26.	T 4.
		μ	μ	μ	μ	μ
En 1953.	J. Terrien.....	+0,687	-0,176	+0,459	+0,138	-1,113
	G. Leclerc.....	+0,675	-0,176	+0,535	+0,127	-1,161
	H. Moreau	+0,640	-0,160	+0,436	+0,095	-1,011
	J. Bonhoure ..	+0,607	-0,174	+0,551	+0,149	-1,134
	Moyenne.....	+0,652	-0,171	+0,495	+0,127	-1,105
En 1939-1944.....		+0,696	-0,114	+0,416	+0,036	-1,034
	ε	-0,044	-0,057	+0,079	+0,091	-0,071

Si l'on suppose que la moyenne des cinq Mètres a été observée de la même manière par les observateurs de 1939-1944 et par ceux de 1953, les écarts ε expriment la variation apparente de chacun des Mètres pendant cette période.

Tous les écarts observés sont inférieurs à $0,1 \mu$, soit 10^{-7} en valeur relative.

Cette précision dans les mesures sur les étalons à traits pourrait sans doute être dépassée en réalisant des tracés encore meilleurs (ce qui ne paraît pas impossible), et surtout en utilisant un comparateur à microscopes photoélectriques impersonnels.

(Septembre 1953.)



COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE
SESSION DE 1934.

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES,
RAPPORT ET ANNEXES.

PRESIDENT
du Comité International des Poids et Mesures

M. J. E. SEARS.

LISTE DES MEMBRES
DU
COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE.

Président :

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

Membres :

Pour la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, *Braunschweig* : M. le Dr H. MOSER, Directeur de l'Abteilung III de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt.

Pour le National Research Council, *Ottawa* : M. H. PRESTON-THOMAS, Division of Physics, National Research Council.

Pour le National Bureau of Standards, *Washington* :
M. F. G. BRICKWEDDE, Chief, Heat and Power Division, National Bureau of Standards.

Pour le Conservatoire National des Arts et Métiers, *Paris* :
M. G.-A. BOUTRY, Professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers.

Pour le National Physical Laboratory, *Teddington* :
M. J. A. HALL, Senior Principal Scientific Officer au National Physical Laboratory.

Pour le Central Inspection Institute of Weights and Measures, *Tokyo* (pas de délégué présent).

Pour le Kamerlingh Onnes Laboratorium, *Leyde* :
M. le Dr H. VAN DIJK, Conservateur pour la Thermométrie au Kamerlingh Onnes Laboratorium.

Pour l'Institut de Métrologie de l'U. R. S. S., *Moscou* :
M. le Prof. G. KONDRATIEV, Chef de la Section des Mesures Thermiques de l'Institut de Métrologie.

M. le Prof. J. TIMMERMANS, Directeur du Bureau des Étalons physico-chimiques, *Boitsfort-lez-Bruzelles*.

M. le Prof. G. BOZZA, Directeur de l'Institut de Physique, Technique et Mécanique, *Milan*.

M. Ch. VOLET, Directeur du Bureau International des Poids et Mesures, *Sèvres*.

Invités :

M. le Prof. G. CASSINIS, Secrétaire du Comité International des Poids et Mesures, Recteur de l'École Polytechnique, *Milan*.

- M. C. R. BARBER, Principal Scientific Officer au National Physical Laboratory, *Teddington.*
- M. le Prof. G. D. BOURDOUN, Vice-Président de la Chambre Centrale des Mesures et Instruments de Mesure, *Moscou.*
- M. M. DEBURE, Physicien Principal du Service de Métrologie au Conservatoire National des Arts et Métiers, *Paris.*
- M. le Dr G. J. SZASZ, Officer of Naval Research, Ambassade des États-Unis, *Londres.*
- M. J. TERRIEN, Sous-Directeur du Bureau International des Poids et Mesures, *Sèvres.*
- M. A. BONHOURE, Adjoint du Bureau International des Poids et Mesures, *Sèvres.*
- MM. H. MOREAU, M. GAUTIER, G. LECLERC et K. YOSHIE, Assistants du Bureau International des Poids et Mesures, *Sèvres.*
-

ORDRE DU JOUR

DE LA

SESSION

1. *Définition des points fixes; leur température dans l'échelle Kelvin.*

- a. Définition de l'atmosphère normale; g normal.
- b. Température de fusion de la glace T_0 .
- c. Température d'autres points fixes.
- d. Circulation de thermomètres à résistance pour comparaison internationale de l'intervalle fondamental 0-100° C.

2. *Échelles thermodynamiques.*

Échelle à un seul point fixe.

3. *Perfectionnement des techniques.*

- a. Thermomètre à gaz.
- b. Thermomètre à effet Johnson.
- c. Pyrométrie monochromatique ou à rayonnement total aux températures inférieures à T_{Au} .
- d. Emploi du thermomètre à résistance de Pt au-dessus de T_{Sh} .

4. *Échelle Internationale.*

Changements éventuels (domaine pyrométrique non limité au visible, critères des thermocouples, extension de l'emploi du thermomètre à résistance, extension de l'Échelle aux basses températures).

5. *Points secondaires.*
 6. *Nomenclature des échelles de température.*
 7. *Rôle du B. I. P. M., équipement, crédits et personnel nécessaires.*
 - a. *Projet de comparaison de lampes pyrométriques.*
 - b. *Comparaisons dans tout le domaine de l'Échelle Internationale.*
 8. *Publications aux Procès-Verbaux du Comité Consultatif de Thermométrie.*
 9. *Questions diverses.*
-

COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE.

SESSION DE 1954

PROCÈS-VERBAL

DE LA PREMIÈRE SÉANCE,

TENUE AU BUREAU INTERNATIONAL.

Lundi 12 juillet 1954.

PRÉSIDENCE DE M. J. DE ROER.

La séance est ouverte à 15^h 10^m.

Sont présents : M. CASSINIS, Secrétaire du Comité International des Poids et Mesures, MM. BOZZA, BRICKWEDDE, VAN DIJK, HALL, KONDRATIEV, MOSER, PRESTON-THOMAS, TIMMERMANS, VOLET, Membres du Comité Consultatif de Thermométrie.

Excusé : M. BOUTRY.

Assistent à la séance : MM. BARBER, BOURDOUN, DEBURE, SZASZ, TERRIEN, A. BONHOURE, MOREAU, GAUTIER, LECLERC, YOSHIÉ, invités.

M. VOLET souhaite la bienvenue aux savants qui sont venus participer aux travaux de cette quatrième session du Comité Consultatif de Thermométrie, et salue la présence de M. CASSINIS, Secrétaire du Comité International des Poids et Mesures.

Conformément au Règlement, le Comité International doit choisir parmi ses membres le Président du Comité Consultatif de Thermométrie ; il n'a pas eu de difficultés à trouver dans son sein un président hautement qualifié, en la personne de M. le Professeur DE BOER, qui a été élu à l'unanimité.

M. DE BOER, très touché de l'honneur qui lui a été fait, confesse qu'il a hésité à accepter, étant surtout théoricien et intéressé aux questions de définitions et de nomenclature. Étant moins habitué au langage des expérimentateurs, il demande à ceux-ci de lui prêter un concours indulgent pour mener à bien les tâches de ce Comité.

M. VOLET fait part de la démission de M. SWIETOSLAWSKI ; le Comité International aura à désigner son remplaçant. Il a reçu les excuses du Directeur du Central Inspection Institute of Weights and Measures du Japon qui s'est trouvé dans l'impossibilité d'envoyer un délégué et qui demande que M. K. YOSHIÉ, assistant au Bureau International des Poids et Mesures, puisse le suppléer. M. YOSHIÉ a donc été invité à assister aux séances. Enfin, M. BOUTRY, souffrant, s'est également excusé.

Le quorum prévu par le Règlement étant atteint, M. le PRÉSIDENT ouvre la séance. A l'unanimité sont désignés, comme Rapporteur pour l'établissement du compte rendu à présenter au Comité International, M. HALL, et comme Secrétaire pour la rédaction des Procès-Verbaux, M. TERRIEN.

M. le PRÉSIDENT, en tenant compte des documents distribués depuis l'établissement de l'Ordre du Jour provisoire, propose, avec l'assentiment unanime du Comité, de discuter d'abord les points 1 b, 2 et 6. Il engage la discussion sur le point 1 b : quelle est, d'après les expé-

riences connues, la valeur numérique la plus probable de la température T_0 du point de fusion de la glace dans l'échelle Kelvin ?

M. VOLET propose que l'on appelle *point de glace* la température conventionnelle inférieure de 0,01 degré à celle du point triple de l'eau et que l'on réserve l'expression *point de fusion de la glace* pour désigner la température réalisée physiquement à l'équilibre entre de l'eau et de la glace.

M. BOZZA reconnaît l'intérêt du point triple mais remarque que les mesures au thermomètre à gaz sont faites dans le mélange eau-glace, et non au point triple. M. VAN DIJK confirme la justesse de cette observation.

La distinction proposée par M. VOLET ne soulève pas d'objection.

Sur l'invitation de M. le PRÉSIDENT, M. TERRIEN résume, d'après les documents reçus, l'état de la question concernant les valeurs de T_0 obtenues jusqu'ici.

M. VAN DIJK fait observer que la valeur moyenne $T_0 = 273,174^\circ \text{K}$, obtenue au Massachusetts Institute of Technology, est fondée sur des coefficients du viriel assez différents de ceux qui sont admis ailleurs. Si l'on recalcule les résultats de Leyde de façon qu'ils soient comparables à ceux du Massachusetts Institute of Technology, on obtient 273,144. La valeur moyenne de Oishi, non arrondie, est 273,148.

Répondant à une demande de M. VOLET, M. MOSER confirme que la valeur recalculée 273,149 résulte d'un ensemble homogène de mesures faites à la Physikalisch-Technische Reichsanstalt, et que cette dernière valeur est plus probable que la valeur publiée primitivement.

M. KONDRATIEV résume l'opinion des physiciens russes;

L'analyse des résultats publiés conduit à une valeur plus proche de 273,15 que de 273,16. Le résultat des expériences préliminaires avec un thermomètre à azote en U. R. S. S. est $273,16 \pm 0,02$. Mais 273,15 est peut-être une valeur plus probable; 273,17 paraît trop élevé, et les expériences du Massachusetts Institute of Technology semblent affectées d'erreurs systématiques. Il faudrait de nouvelles expériences dans plusieurs pays pour qu'on arrive à une valeur plus sûre. Pour le moment, malgré leurs efforts, les savants de l'U. R. S. S. ne peuvent exprimer une opinion plus précise et désirent garder la valeur 273,15 recommandée par ce Comité Consultatif en 1939.

M. BRICKWEDDE signale que le document du National Bureau of Standards (Annexe T 3, p. T 59) a été écrit avant que ne fussent connus les nouveaux calculs de J. OTTO (Annexe T 6, p. T 78).

M. Van DIJK, poursuivant son exposé des résultats non arrondis, communique les valeurs des quatre laboratoires calculées avec les coefficients du viriel déterminés par chacun d'eux (colonne *a*) et celles calculées en adoptant les mêmes coefficients moyens (colonne *b*) :

	(a).	(b).
P. T. B.....	273,149° K	273,149° K
Leyde.	144	147
Japon.....	148	148
M. I. T.....	174	171
Moyenne....	<u>273,154</u>	<u>273,154</u>

Dans chaque colonne, les résultats sont bien comparables; leur moyenne est 273,154 dans les deux cas. Après discussion, il est décidé que la moyenne doit être établie comme elle vient d'être présentée, chacune des

quatre déterminations ayant le même poids. La moyenne arrondie au centième de degré est donc $273,15$.

M. le PRÉSIDENT constate que tous les Membres du Comité s'accordent pour adopter $273,15^{\circ}\text{K}$, comme valeur la plus probable de la température du point de fusion de la glace dans l'échelle Kelvin.

M. le PRÉSIDENT aborde la définition de l'échelle thermodynamique à un seul point fixe. Il lit les récentes recommandations de l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée et de l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée (Annexe T 1, p. T 51), qui, l'une et l'autre, soulignent l'urgence d'une décision, mais laissent à la Conférence Générale la responsabilité du choix de la valeur à attribuer par définition à la température du point triple de l'eau (T_{tr}) dans cette nouvelle échelle. Expérimentalement, comme il vient d'être constaté, la valeur la plus probable de T_{tr} est $273,15 + 0,01 = 273,16$ dans l'ancienne échelle thermodynamique, et l'on devrait conserver cette valeur. Mais parmi toutes les tables thermodynamiques en usage dans le monde, la plupart sont établies en Allemagne et surtout aux États-Unis, et elles sont fondées sur $T_{tr} = 273,17$. Des raisons pratiques pourraient donc faire préférer cette dernière valeur.

M. BRICKWEDDE, répondant à la question : « Pourquoi les savants américains ont-ils utilisé $273,16^{\circ}\text{K}$ pour T_0 au lieu de la valeur $273,15^{\circ}\text{K}$ recommandée par le Comité Consultatif ? » dit que les Procès-Verbaux des séances des Comités Consultatifs de 1939 et 1948 montrent que les mesures de T_0 faites par le Professeur Beattie du M. I. T. n'avaient pas été jointes à celles des autres laboratoires pour l'obtention de la moyenne qui a conduit à la valeur $273,15^{\circ}\text{K}$ et que, de plus, les tables des meilleures valeurs des constantes physiques fondamentales

publiées aux États-Unis, par exemple les dernières éditions des tables du Professeur R. T. Birge, donnaient $273,16^{\circ}$ K comme valeur la meilleure de T_0 .

Bien que la valeur la plus probable de T_0 soit $273,16$, M. MOSER conserve une légère préférence pour $273,17$, car c'est la valeur adoptée jusqu'ici par les physiciens allemands, et l'incertitude expérimentale ne permet pas d'affirmer que cette dernière valeur soit fausse. Il se rangera cependant à l'avis de la majorité.

D'après M. Van DIJK, rien ne s'oppose à l'adoption de $273,16$, valeur en accord avec les recommandations du Comité Consultatif de Thermométrie depuis sa première session en 1939, et qui a été adoptée pour cette raison par plusieurs laboratoires. Compte tenu de la précision exigée, les tables fondées sur $T_0 = 273,17$ sont utilisables sans changement, car une erreur relative d'environ $1/30\ 000$ est actuellement négligeable dans tous les cas.

M. HALL prévoit que les inconvénients d'une valeur de T_0 mal choisie seraient graves à l'avenir; l'existence de tables fondées sur une certaine valeur est un argument secondaire. M. VOLET appuie ce point de vue et fait remarquer que les tables numériques doivent se conformer à nos décisions et non nos décisions aux tables numériques.

D'après M. TIMMERMANS, il n'y a pas à choisir; la valeur la plus probable étant reconnue, il faut s'y conformer, sinon nos décisions seront jugées incohérentes, et il en résultera nécessairement une confusion parmi ceux qui doivent consulter les délibérations de notre Comité. Pourtant, avant que le Comité prenne une décision, il voudrait s'assurer qu'elle sera suivie.

MM. BRICKWEDGE et MOSER pensent que les physiciens

de leur pays se rallieront à la décision de la Conférence Générale des Poids et Mesures.

Après une longue discussion, M. le PRÉSIDENT consulte chacun des Membres; à l'unanimité, la valeur 273,16 est adoptée pour la température du point triple de l'eau dans l'échelle thermodynamique à un seul point fixe.

La séance est interrompue quelques instants. A la reprise, M. le PRÉSIDENT présente au Comité le projet d'une proposition n° 4 dont il a rédigé un texte provisoire, afin de concrétiser la décision qui vient d'être prise.

M. BRICKWEDDE attire l'attention sur les variations possibles de la composition isotopique de l'eau. Le point triple de l'eau lourde pure (D_2O) est environ $4^\circ C$ et les procédés utilisés pour la purification de l'eau ont pour effet certain de changer sa composition isotopique. Ces changements sont petits il est vrai, mais ils pourraient devenir significatifs à l'avenir.

Il est décidé que des remarques de ce genre ont leur place dans la troisième Partie (Recommandations) de l'Échelle Internationale de Température.

La suite de la discussion de la proposition 4 est renvoyée à la prochaine séance.

M. le PRÉSIDENT met à l'étude le point 6 de l'Ordre du Jour et ouvre la discussion en faisant un exposé relatif à la désignation des diverses températures, avec leurs symboles, proposés par MM. MOSER, TERRIEN et lui-même (cf. Annexes T 8, T 9 et T 10, p. T 88, 90 et 94).

M. BOZZA estime superflu l'emploi du mot *degré* placé devant Kelvin et Celsius. On pourrait le supprimer, ainsi que l'a proposé la Commission Italienne de Métrologie.

M. VOLET appuie vivement ce point de vue, car non

seulement le mot *degré* est inutile, mais il est par ailleurs employé avec plusieurs sens différents. Cela n'empêcherait pas de conserver les symboles °K et °C.

M. BRICKWEDDE signale qu'au National Bureau of Standards on a essayé de supprimer le signe °, mais qu'on a été amené à le rétablir.

M. le PRÉSIDENT observe que C et K sont les symboles du coulomb et du kayser; il serait donc nécessaire de conserver le signe °.

Le Comité Consultatif ne désire pas se prononcer formellement sur ce point.

M. MOSER précise qu'il n'y a que deux échelles (thermodynamique et pratique), même si l'on considère quatre températures; ajouter ou retrancher 273,15 change l'origine, non l'échelle.

M. BRICKWEDDE voudrait que soient sanctionnées deux températures seulement : une température thermodynamique en °K et une température internationale en °C, ce qui éviterait les adjonctions (int. 1948), (therm.), etc.

M. TIMMERMANS objecte que les praticiens ont besoin de températures absolues et n'utilisent que l'Échelle Internationale; il leur faut donc une température Kelvin internationale, avec le symbole simple T, car on ne pourra les obliger à écrire T' comme cela vient d'être proposé par M. le PRÉSIDENT.

M. Van DIJK ajoute qu'il faudra toujours exprimer les petites différences entre l'Échelle Internationale et l'Échelle thermodynamique, et que les quatre températures sont bien utiles. De plus, les très basses températures continueront à être exprimées en °K même lorsque l'Échelle Internationale sera étendue à ce domaine.

MM. BRICKWEDDE et MOSER ayant proposé de remplacer le qualificatif « international » par « pratique », parce que l'Échelle thermodynamique est aussi internationale, MM. HALL et TERRIEN objectent que le qualificatif « international » évoque bien le même sens qu'il avait par exemple dans « ampère international », etc. et que son usage est bien établi à la suite des décisions de la Conférence Générale depuis 1927.

M. le PRÉSIDENT constate que la majorité est en faveur du maintien du qualificatif « international » et tous les Membres s'y rallient.

M. MOSER demande ensuite comment on distinguera l'échelle thermodynamique utilisée jusqu'ici et l'échelle thermodynamique à un seul point fixe, qui sont différentes en principe.

M. VOLET ne voit guère l'utilité pratique de sanctionner deux désignations car, actuellement, les deux échelles ne sont pas discernables eu égard à la précision des mesures et, si elles le deviennent un jour, la première échelle sera déjà abandonnée. Le Professeur Giaque lui-même a d'ailleurs déconseillé, avec un désintéressement auquel nous tenons à rendre hommage, la désignation *degré Giaque*, qui avait été proposée à la fois pour faire la distinction envisagée et pour rappeler la part essentielle prise par l'éminent physicien américain dans l'établissement de l'échelle thermodynamique sur une base qu'avait déjà préconisée l'illustre Kelvin.

M. le PRÉSIDENT reporte la suite de la discussion à la séance suivante et aborde le point 1 a de l'Ordre du Jour : Définition de l'atmosphère normale.

M. VOLET signale que le Comité International des Poids et Mesures a été sollicité par l'Organisation Internationale

de Normalisation (I. S. O.) de donner une définition de la pression atmosphérique normale. Il constate que, dans les publications du Bureau International, on trouve en effet cinq définitions successives de cette grandeur; mais il lui paraît évident, sans qu'on ait eu besoin de le spécifier, que chacune de ces définitions a remplacé la définition précédente. Dans ces conditions, il lui semble que la seule définition que le Comité International puisse actuellement recommander est celle qui est donnée dans le texte de l'Échelle Internationale de Température sanctionnée par la Conférence Générale de 1948, c'est-à-dire : 1 atmosphère normale = 1 013 250 dynes par centimètre carré (nous préfererions dire aujourd'hui : 101 325 newtons par mètre carré). On ne peut arguer que cette définition paraît ne s'appliquer qu'aux besoins de la thermométrie, car toutes les définitions antérieures ont elles-mêmes été données en vue de préciser la position des points fixes thermométriques.

La thermométrie à gaz peut se dispenser de définir une *unité* de pression, car elle ne considère que des *rapports* de pression. Elle a, au contraire, besoin de définir une pression de référence pour les points fixes. C'est sous cet aspect de *repère* que l'on doit considérer la pression atmosphérique normale, d'autant plus que, comme *unité*, cette grandeur ne fait partie d'aucun système cohérent.

Quoique la pression atmosphérique normale apparaisse maintenant comme parfaitement définie, M. VOLLET estime qu'il reste en ce moment nécessaire de préciser un point particulier concernant la réalisation pratique de ce repère. Cette réalisation se fera toujours au moyen d'une colonne de mercure, c'est-à-dire qu'il restera indispensable de connaître la valeur de la gravité au lieu où l'on opère. Or, la plupart des physiciens n'ont pas la possibilité de faire

une mesure absolue de la gravité, qui est toujours une opération longue et difficile. On prend alors la gravité dans un système de référence qui, depuis un demi-siècle, est le *système de Potsdam*. Or, on sait maintenant que ce système aura besoin d'être corrigé; mais, en attendant que les expériences qui permettront de déterminer cette correction soient terminées, si l'on veut que les mesures thermométriques restent comparables entre elles, il convient que tous les physiciens conservent le système de Potsdam pour l'expression de la gravité locale. Les géodésiens ont déjà pris une telle décision.

A propos de l'atmosphère normale, M. MOSER voit, dans le texte de l'Échelle Internationale (*Comptes Rendus des Séances de la Neuvième Conférence Générale*, 1948, p. 93, § 3, Pression), deux définitions.

M. VOLET répond que la définition primaire est donnée dans la Deuxième partie (définition de l'Échelle), au bas de la page 90 : c'est $1\ 013\ 250$ dynes/cm². Le passage cité par M. MOSER fait partie des recommandations pratiques.

M. MOSER propose alors une inversion dans le passage cité, qui deviendrait : « 3. *Pression*. — Les points fixes sont donnés comme la température d'équilibre à une pression de $1\ 013\ 250$ dynes/cm². A cette pression correspond celle qu'exerce... ».

Le Comité est d'accord pour proposer que ce changement soit introduit à la prochaine révision de l'Échelle Internationale.

La séance est levée à 19^h.

PROCÈS-VERBAL

DE LA DEUXIÈME SÉANCE,

TENUE AU BUREAU INTERNATIONAL.

Mardi 13 juillet 1954.

PRÉSIDENCE DE M. J. DE BOER.

La séance est ouverte à 9^h40^m.

Sont présents : M. CASSINIS, Secrétaire du Comité International des Poids et Mesures, MM. BOZZA, BRICKWEDDE, VAN DIJK, HALL, KONDRATIEV, MOSER, PRESTON-THOMAS, TIMMERMANS, VOLET, Membres du Comité Consultatif de Thermométrie.

Excusé : M. BOUTRY.

Assistent à la séance : MM. BARBER, BOURDOUN, DEBURE, SZASZ, TERRIEN, A. BONHOURE, MOREAU, GAUTIER, LECLERC, J. BONHOURE, YOSHIÉ, invités.

M. le PRÉSIDENT reprend la discussion sur le projet de proposition 1.

M. VOLET attire l'attention sur l'expression « échelle à un *seul* point fixe », qui laisse supposer qu'une échelle thermodynamique pourrait avoir plusieurs points fixes. Or, une échelle fondée sur les principes de la thermodynamique ne peut avoir qu'un point fixe. L'échelle en usage

actuellement est fondée, non sur *deux points fixes*, mais sur *un intervalle fixe* auquel on a attribué la valeur conventionnelle 100 degrés.

MM. BRICKWEDDE et HALL comprennent que la nuance désirée par M. VOLET s'exprimerait dans la langue anglaise en remplaçant « a single point » par « one point ».

M. VAN DIJK, sans s'opposer à cette proposition, fait observer que l'intervalle de 100 degrés est limité par deux points fixes, et que la nouvelle échelle thermodynamique est elle-même fondée sur deux points fixes, l'un réalisable, le point triple de l'eau, l'autre étant le zéro absolu.

La suppression de « seul » est adoptée.

M. BOZZA pense que dans l'expression « Échelle à un point fixe fondamental » le mot *fondamental* est superflu.

M. KONDRATIEV rappelle que l'Échelle Internationale distingue les points fixes fondamentaux, dont la valeur est fixée exactement par convention, les points fixes primaires, et les points fixes secondaires. Le point triple de l'eau, dans l'échelle à un point fixe, est bien un point fixe fondamental.

M. TIMMERMANS propose que les mots « un point fixe fondamental » soient soulignés, afin de mettre en évidence que l'on ne s'appuie plus sur un intervalle fondamental.

Cette proposition ne rencontre pas d'objection.

Après quelques autres remarques de MM. BRICKWEDDE, VAN DIJK, GAUTIER, HALL, MOSER, TIMMERMANS, VOLET, la proposition 1 est adoptée à l'unanimité sous la forme suivante :

PROPOSITION 1.

Le Comité Consultatif de Thermométrie recommande que l'on définisse désormais l'échelle thermodynamique au moyen d'un point fixe fondamental, le point triple de l'eau.

Après avoir considéré soigneusement tous les résultats numériques obtenus jusqu'ici, le Comité Consultatif de Thermométrie estime que la valeur la meilleure pour la température du point triple de l'eau est 273,16° K dans l'échelle thermodynamique utilisée jusqu'à maintenant.

En conséquence, il recommande que l'on attribue par définition à la température du point triple de l'eau, dans l'échelle thermodynamique à un point fixe fondamental, la valeur numérique 273,16° K exactement.

M. VOLET remarque que la décision qui vient d'être prise 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.

M. le PRÉSIDENT, au nom du Comité Consultatif, prie M. BRICKWEDDE de préparer la révision de l'Introduction de l'Échelle Internationale, en tenant compte de ce qui aura été adopté à cette session.

M. le PRÉSIDENT revient à la désignation des températures dont la discussion n'a pas été achevée; les désignations qui seront adoptées seront publiées aux Procès-Verbaux, mais il ne semble pas justifié de les présenter dans une proposition formelle.

MM. HALL et KONDRATIEV ne voudraient pas que l'on abrège °C (Int. 1948) en °C (1948); cette simplification ne justifie pas une révision des décisions de la Conférence Générale.

Après quelques autres remarques de MM. BRICKWEDDE, HALL, MOSER, TIMMERMANS, l'accord unanime se fait sur les désignations et les abréviations présentées sous la forme du tableau suivant, dans lequel les flèches indiquent

enfin en U. R. S. S. où il se trouve actuellement. Le thermomètre R 13 du National Physical Laboratory a suivi le même itinéraire, sauf qu'il n'a pas été étudié aux États-Unis.

M. HALL présente des tableaux et des graphiques résumant les résultats des comparaisons déjà effectuées (cf. Annexes T 11 à T 15, p. T 96 à T 116).

M. Van DIJK précise que dans les résultats donnés à l'Annexe T 14, la résistance a été mesurée à Leyde avec plusieurs intensités de courant, et que l'extrapolation à un courant nul conduit à

$$R_0 = 25,479\ 07\ \Omega \text{ pour le thermomètre S167}$$

et

$$R_0 = 28,638\ 75\ \Omega \text{ pour le thermomètre R 13,}$$

valeurs un peu différentes de celles qui ont été obtenues avec un courant de 1 mA, et qui avaient été publiées seules. A 100° C, toutes les mesures ont été faites avec un courant de 1 mA.

M. BARBER résume les résultats de ces échanges de thermomètres : la stabilité a été bonne, malgré une légère augmentation de la résistance à 0°C. Sur la valeur de $\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 R_0}$, l'accord des quatre laboratoires montre que l'intervalle fondamental 0° C-100° C est le même à 0,001 degré près. Ces échanges devront se poursuivre avec le Japon, l'Australie, l'Afrique du Sud, le Canada, etc.

Le Comité s'accorde pour estimer très satisfaisante cette concordance.

M. KONDRATIEV pense que les thermomètres actuellement en U. R. S. S. seront disponibles en août ou septembre 1954 et pourront être transmis à l'Australie ou au Japon.

Il insiste sur la nécessité d'opérer avec un courant faible pour des mesures précises.

M. MOSER demande si les résistances ont été mesurées en ohm absolu.

M. HALL sait que les mesures de Leyde se rapportent à la même résistance étalon que les mesures du National Physical Laboratory; toutes deux sont liées à la valeur de l'ohm absolu réalisé au N. P. L. Il faudrait aussi que les laboratoires précisent dans quel système la valeur de la gravité a été déterminée; il peut en résulter des différences de plusieurs dix-millièmes de degré sur la température d'ébullition de l'eau.

M. HALL demande l'avis du Comité sur un projet formé par M. STIMSON, visant à faire circuler d'autres thermomètres d'une façon analogue afin de comparer l'intervalle entre le point d'ébullition de l'oxygène et le point triple de l'eau.

M. Van DIJK recommande que ces thermomètres ne soient pas portés à la température du point du soufre, car cela diminuerait leur stabilité.

Le Comité approuve ce projet de comparaison internationale et laisse au B. I. P. M. le soin d'organiser le programme des échanges, compte tenu des occasions qui s'offriront de transporter les instruments avec sécurité.

M. HALL insiste sur la nécessité de ne confier les thermomètres à résistance de platine qu'à un physicien ayant pleine connaissance des conséquences des moindres chocs et qui n'abandonne son précieux colis à aucune main étrangère, comme il l'a fait lui-même de Teddington à Braunschweig et à Léninegrad; il préfère le voyage par

mer ou chemin de fer, où les accélérations sont moins fortes qu'en avion. Il accueille avec faveur la suggestion de M. TIMMERMANS de joindre à chaque thermomètre une fiche d'instructions pour le transport.

M. VOLET pense que les vibrations sont aussi pernicieuses que les chocs. Les bateaux sont loin d'en être exempts et le voyage dure plus longtemps.

M. le PRÉSIDENT demande à M. VOLET de lire le projet de proposition qu'il a rédigé concernant la réalisation pratique de l'atmosphère normale. Ce projet, précisé selon une remarque de M. CASSINIS, est adopté après discussion sous la forme suivante :

PROPOSITION 2.

Le Comité Consultatif de Thermométrie recommande que les valeurs de la gravité qui interviennent dans la détermination pratique de la pression atmosphérique normale, soient exprimées dans le système de Potsdam, jusqu'à ce que la Conférence Générale des Poids et Mesures ait sanctionné un changement de ce système.

Au cours de la discussion, il est apparu que ces questions de système gravimétrique ne sont pas très familières aux spécialistes en thermométrie; M. CASSINIS donne à ce sujet quelques éclaircissements ⁽²⁾.

M. HALL signale que les travaux effectués au National Physical Laboratory sont basés sur le résultat de la mesure absolue exécutée à Teddington par Clark, et non sur le système de Potsdam.

(2) Le système de Potsdam repose sur la valeur $9,81274 \text{ m/s}^2$ obtenue par Kühnen et Furtwängler pour l'intensité de la pesanteur à l'Institut Géodésique de Potsdam (1898-1904).

Cependant, M. BRICKWEDDE pense que pour des comparaisons thermométriques internationales, il serait probablement avantageux d'indiquer dans les rapports deux séries de constantes d'étalonnage des thermomètres, l'une fondée sur la valeur de g dans le système de Potsdam, l'autre sur la valeur de g utilisée normalement. Toutefois, la différence entre ces deux étalonnages sera probablement très petite ⁽³⁾.

M. le PRÉSIDENT aborde l'examen du point 3 de l'Ordre du Jour : Perfectionnement des techniques.

M. KONDRATIEV attire l'attention (Annexe T 16, p. T 122) sur la possibilité d'employer le thermomètre à résistance de platine au-dessus de 630° C, avec un fil de platine de 0,5 mm de diamètre dont la résistance est environ 0,1 à 0,2 Ω à 0° C. Les thermomètres à résistance construits en U. R. S. S. se sont montrés assez stables; de tels instruments devraient pouvoir remplacer avantageusement le couple thermoélectrique de l'Échelle Internationale, et il est souhaitable que leur étude soit poursuivie dans plusieurs pays. Cette technique a d'ailleurs été employée avec succès par d'autres expérimentateurs.

D'autre part, les formules d'interpolation pourraient être modifiées (*cf.* Annexe T 16).

M. PRESTON-THOMAS présente une Note de E. H. McLaren (Annexe T 20, p. T 152) sur la reproductibilité du point de solidification du zinc; sur la suggestion de M. HALL, il est convenu que cette Note sera complétée

⁽³⁾ M. BRICKWEDDE a rendu compte par lettre que la valeur de g utilisée au N. B. S. est fondée sur une moyenne des mesures de g faites au N. B. S. par P. R. Heyl et de celles de Clark à Teddington, ainsi que de celles de Potsdam.

par des courbes de fusion montrant comment la pureté du zinc a été contrôlée (Annexe T 21, p. T 157).

M. TIMMERMANS rappelle que Rossini a indiqué une méthode précieuse pour calculer le pourcentage d'impuretés des corps par l'étude des courbes de fusion et de solidification; cette méthode est bien connue des chimistes, elle l'est peut-être moins des physiciens à qui elle pourrait cependant être très utile.

M. HALL pense, lui aussi, qu'on arrivera à remplacer le couple par le thermomètre à résistance. En prévision de ce changement important de l'Échelle Internationale, plusieurs points sont à considérer.

Le document de l'U. R. S. S. (Annexe T 16) propose de conserver le point du soufre comme point fixe primaire dans le domaine actuel du thermomètre à résistance, et d'étalonner au point triple de l'eau, au point de solidification du zinc et à celui de l'or les thermomètres utilisés jusqu'à 1063° C.

Il serait peut-être préférable de choisir entre le point du soufre et celui du zinc; dans les six années à venir, des expériences en vue de ce choix sont désirables, celles du N. R. C. à Ottawa sur le zinc apportent déjà une excellente contribution dans ce sens.

Pour l'emploi au point de l'or, la stabilité paraît la meilleure avec du fil de platine de 0,5 mm de diamètre, comme l'a montré M. KONDRATIEV, et aussi M. MOSER dans des expériences publiées en 1930; mais il faut aussi, pour le raccordement à l'échelle pyrométrique, un élément sensible de petites dimensions.

M. HALL présente ensuite des résultats non publiés, contemporains de ceux de M. MOSER, et qui sont en bon

accord avec ceux obtenus en U. R. S. S. Il avait utilisé deux thermomètres S3 et S7, à fil de platine fin (0,1 mm de diamètre) sur croisillon de silice; la pureté du platine était moins bonne qu'aujourd'hui et le point du soufre n'était pas très bien réalisé. Une incertitude de 0,01 degré aurait entraîné une incertitude de 0,1 degré du point de l'or. La variation de résistance à 0° C, après un séjour de 6 heures à 1000° C, était de l'ordre de $3 \cdot 10^{-5}$, soit environ 0,01 degré.

Le tableau suivant résume les résultats obtenus par M. HALL à cette époque avec ces thermomètres :

	S 3.	S 7.
$\frac{R_{100}}{R_0}$	1,389 6	1,390 6
t_{Au}	1 062,12°	1 062,14°
t_{Ag}	960,12	960,13

Si l'on recalcule t_{Ag} en supposant l'étalonnage fait à 1 063° C, on trouve $t_{Ag} = 960,9°$, valeur égale à celle qui a été obtenue en U. R. S. S.

M. HALL commente enfin les formules d'interpolation proposées dans l'Annexe T16; afin d'éclairer le Comité sur les études à envisager dans le proche avenir, il présente un graphique (*fig. 1*) où sont tracés les écarts entre deux formules quadratiques d'interpolation et une formule cubique s'appuyant sur les points 0, 100, 444,6, 1063° C. Ces deux formules quadratiques sont, l'une la formule actuelle et l'autre, une formule calculée d'après les points 0, 444,6, 1063°. Les constantes du thermomètre sont choisies de telle sorte qu'en se servant de la formule quadratique actuelle, on arrive à la valeur 1 062° pour le point de l'or. On pourra adopter plus tard soit une seule formule, soit une division du domaine 0-1 063° C en deux régions.

En résumé, M. HALL envisage des expériences sur le point du zinc, sur la meilleure forme à donner au thermomètre à résistance, avec peut-être un fil de diamètre intermédiaire, et une étude des formules d'interpolation.

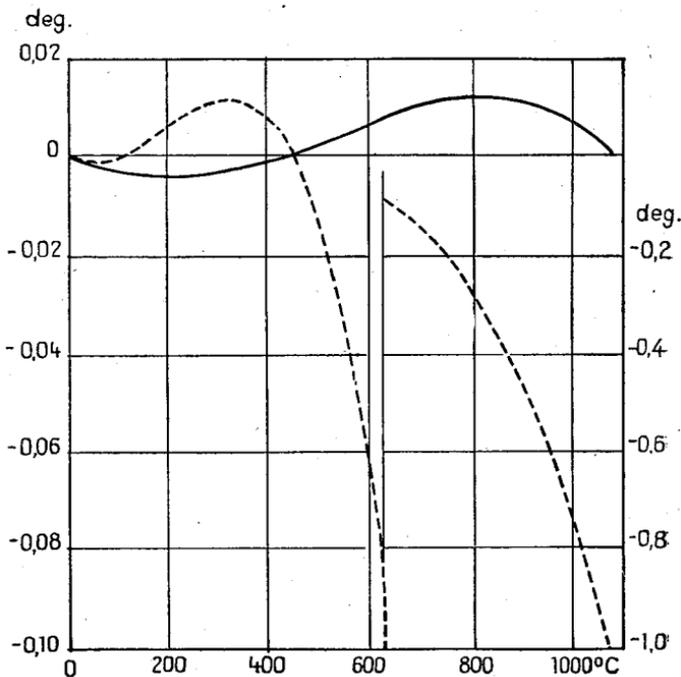


Fig. 1.

Comparaison, dans le domaine 0-1063° C, des formules d'interpolation du thermomètre à résistance N° R11 (Constantes observées : $\frac{R_{100}}{R_0} = 1,392\ 404\ 6$, $\frac{R_{444,6}}{R_0} = 2,654\ 896$; constante présumée : $\frac{R_{1063}}{R_0} = 4,568\ 955$).

Différences comptées à partir d'une formule du 3° degré s'appuyant sur 0-100-444,6-1063° C.

En abscisses : Température en °C.

En ordonnées : Différences, en degré, entre les formules quadratiques et la formule cubique.

- Formule du 2° degré s'appuyant sur 0-100-444,6° C.
- Formule du 2° degré s'appuyant sur 0-444,6-1063° C.

M. le PRÉSIDENT s'enquiert des programmes de travaux prévus dans les autres Laboratoires.

M. BRICKWEDDE dit que le National Bureau of Standards a déjà à son programme d'importantes mesures sur les écarts entre l'Échelle Internationale et l'échelle thermodynamique, et que le Comité Consultatif de Thermométrie devrait définir officiellement le programme qu'il juge opportun de recommander aux Laboratoires.

M. MOSER rappelle ses expériences publiées en 1930 ⁽⁴⁾ avec des thermomètres à résistance de platine semblables à ceux de M. Kondratiev. Avec une formule quadratique, ses thermomètres indiquaient au point de l'or une température de 1062° environ, voisine de celle obtenue par M. Hall, et qui diffère de 1 degré de la valeur adoptée pour ce point dans l'échelle thermodynamique Celsius. M. MOSER a publié dans ce même Mémoire une formule du 3^e degré suffisamment précise pour tout le domaine de 0 à 1063° C. Il a enfin montré que, conformément à la règle de Matthiessen, les variations de la résistance électrique $R_t - R_0$ sont moins sensibles aux modifications éventuelles du platine que les résistances elles-mêmes, et peuvent servir avantageusement pour une graduation du thermomètre avec des étalonnages moins fréquents. A son avis, le thermocouple sera abandonné à l'avenir dans la définition de l'Échelle Internationale. Mais il faudrait au préalable contrôler l'exactitude de la température thermodynamique du point de l'or, dont l'incertitude atteint peut-être 3 degrés; de nouvelles mesures au thermomètre à gaz sont urgentes.

⁽⁴⁾ H. MOSER, *Über die Temperaturmessung mit dem Platinwiderstandthermometer bis 1100°* (*Ann. Physik*, 5^e série, t. 6, 1930, p. 852-874).

Répondant à une question de M. HALL, M. KONDRATIEV prévoit que, dans un ou deux ans, les physiciens russes auront sans doute fait, en même temps que MM. Moser et Otto, de nouvelles mesures au thermomètre à gaz de la température thermodynamique du point de l'or, dont l'incertitude actuelle est sérieuse. Ces mesures absolues devraient être menées parallèlement à l'expérimentation du thermomètre à résistance de platine qui, d'après les observations faites en U. R. S. S., en Angleterre et en Allemagne, sera certainement utilisable jusqu'à 1063° C, après que plusieurs Laboratoires auront essayé différents modes de construction et diverses techniques d'emploi.

M. le PRÉSIDENT, résumant cette discussion, conclut qu'il serait souhaitable que fussent étudiés les thermomètres à résistance de platine aux températures élevées, et que l'on déterminât avec précision la température des points de solidification de l'or, de l'argent et du zinc dans l'échelle thermodynamique.

La séance est levée à 12^h 20^m.

PROCÈS-VERBAL

DE LA TROISIÈME SÉANCE,

TENUE AU BUREAU INTERNATIONAL.

Mardi 13 juillet 1954.

PRÉSIDENTENCE DE M. J. DE BOER.

La séance est ouverte à 15^h 10^m.

Sont présents : M. CASSINIS, Secrétaire du Comité International des Poids et Mesures, MM. BOZZA, BRICKWEDDE, VAN DIJK, HALL, KONDRATIEV, MOSER, PRESTON-THOMAS, TIMMERMANS, VOLET, Membres du Comité Consultatif de Thermométrie.

Excusé : M. BOUTRY.

Assistent à la séance : MM. BARBER, BOURDOUN, DEBURE, SZASZ, TERRIEN, A. BONHOURE, MOREAU, GAUTIER, LECLERC, J. BONHOURE, YOSHIE, invités.

M. le PRÉSIDENT demande si l'on approuve le texte distribué d'un projet de proposition résumant le programme de travail établi à la suite des échanges de vues de la séance précédente. Après une courte discussion, cette proposition est adoptée à l'unanimité sous la forme suivante :

PROPOSITION 3.

Le Comité Consultatif de Thermométrie estime que, dans un proche avenir, il peut être désirable de réviser l'Échelle Internationale de Température dans la région comprise entre

les points du soufre et de l'or, afin d'obtenir une meilleure reproductibilité, une bonne continuité et une meilleure concordance avec l'échelle thermodynamique. Pour cette raison, le Comité Consultatif de Thermométrie recommande que les laboratoires intéressés fassent des études dans cette région de température. En particulier, il conviendrait d'étudier l'utilité du point de fusion du zinc comme point fixe primaire, les températures thermodynamiques du point de fusion de l'or et des différents points secondaires, ainsi que l'utilisation de thermomètres à résistance de platine.

Poursuivant l'étude du point 3 de l'Ordre du Jour, M. le PRÉSIDENT s'enquiert s'il y a d'autres travaux en cours au thermomètre à gaz, ou par une autre méthode thermodynamique.

M. MOSER fait part de la construction, actuellement achevée, d'un thermomètre à gaz d'un type nouveau et qui permettra d'obtenir, dans un an peut-être, des résultats aux points de l'or, de l'argent, du soufre et du zinc. La précision espérée est de quelques dixièmes de degré au point de l'or; l'accroissement de précision est donc de l'ordre de 10. M. MOSER pense que la valeur admise pour le point de l'or est trop faible de 2 ou 3 degrés. Le réservoir de ce thermomètre est en silice, et la pression intérieure qu'il subit est équilibrée par une pression extérieure égale grâce à une seconde enveloppe. La correction d'espace nuisible est de 1 à 2 pour mille; elle est calculable. M. MOSER a l'intention de publier une description de cet appareil à l'occasion du Symposium des Hautes Températures qui doit avoir lieu à Washington du 28 au 30 octobre 1954.

M. BRICKWEDDE informe le Comité que E. W. Hogue a continué un travail au National Bureau of Standards sur le thermomètre à bruit de fond électrique utilisant l'effet Johnson, et a amélioré les circuits électriques du thermo-

mètre à bruit de fond réalisé initialement par J. B. Garrison et A. W. LAWSON à l'Université de Chicago.

M. HALL attire l'attention sur une publication récente de R. Aumont, J. Romand et B. Vodar sur le même sujet (⁵).

M. le PRÉSIDENT demande s'il y a des observations à présenter concernant le domaine des basses températures.

M. Van DIJK signale l'utilité de fixer le point secondaire constitué par la température d'ébullition de l'hydrogène de composition normale (à la température ordinaire) en para et ortho. En 1952, on a constaté que la meilleure valeur, dans l'échelle Kelvin, était 20,38° K, mais faute d'avoir fixé la valeur de T_0 , on n'avait pas pu énoncer cette température dans l'échelle Celsius. Avant que ce point ne devienne primaire dans une extension future de l'Échelle Internationale, il est utile de se mettre d'accord sur sa valeur pour fournir une base aux recherches destinées à l'établissement de la relation entre la résistance du platine et la température.

M. BRICKWEDDE confirme l'avis qui vient d'être exprimé.

M. HALL remarque que les Procès-Verbaux donnent toutes les indications nécessaires, sans qu'il soit besoin de les formuler en une proposition spéciale; on les retrouvera, dans six ans peut-être, lorsqu'on décidera de refondre l'Échelle Internationale.

M. KONDRATIEV signale la proposition de l'Institut des Mesures et Instruments de Mesure à Moscou concernant l'extension de l'Échelle Internationale de Température au-dessous du point d'ébullition normal de l'oxygène. Les collaborateurs de l'Institut de Moscou, le Professeur

(⁵) *C. R. Acad. Sc.*, t. 238, 1954, p. 1293.

P. G. Strelkov, A. S. Borovik-Romanov et M. P. Orlova, ont effectué la comparaison directe de thermomètres à résistance de platine avec le thermomètre à hélium décrit dans les *Procès-Verbaux du Comité International des Poids et Mesures*, XXIII-B, 1952, p. T 32, dans l'intervalle de température compris entre 10° et 90,19° K. Les résultats de cette comparaison sont résumés dans le tableau de l'Annexe T 18 (voir ce volume, p. T. 141), qui donne la résistance relative $W = R_t/R_0$ du platine en fonction de la température exprimée en degrés Kelvin.

M. TIMMERMANS, se référant au document qu'il a présenté (Annexe T 24, p. T 171), et dans lequel il indique les conditions que doivent satisfaire les substances à utiliser pour constituer des points thermométriques secondaires, insiste sur l'utilité de tels points fixes, par exemple au voisinage de 20° C et de 38° C; mais des expériences doivent être faites dans plusieurs laboratoires, avec des matériaux d'origines diverses et purifiés par différentes méthodes, avant de pouvoir utiliser de tels repères avec confiance.

Sur l'invitation de M. le PRÉSIDENT, M. VOLET commente le point 7 de l'Ordre du Jour. Le Bureau International a joué un rôle important, avec Pernet, Chappuis et Guillaume, dans les débuts de la thermométrie de précision; mais, par suite de diverses circonstances et surtout faute de crédits, cette tradition s'est un peu perdue. L'Échelle Internationale, échelle pratique pour les industriels croyait-on d'abord, est devenue un instrument très précis pour les usages scientifiques, et il est anormal que le Bureau International n'ait pas les moyens de la réaliser. Nos thermomètres de référence sont encore les thermomètres à mercure comparés au thermomètre à gaz par Chappuis. Les physiciens du Bureau International sont parfaitement

capables de travailler en thermométrie de précision; ils ont besoin de réaliser l'Échelle Internationale pour les travaux dont le Bureau a la charge et ils pourraient aussi mener des études pour lesquelles les Laboratoires nationaux trouvent difficilement le temps nécessaire, étant accaparés par les travaux courants. Le Bureau International a établi un programme de travail, il a étudié des plans d'appareils, les Laboratoires nationaux sont prêts à l'aider et à le conseiller. Le Comité Consultatif de Thermométrie pourrait, s'il le juge utile, émettre le vœu que les crédits nécessaires soient accordés au Bureau International par la Conférence Générale.

M. le PRÉSIDENT, au nom de tous, souhaite que l'équipement dont parle M. VOLET puisse être réalisé rapidement.

M. HALL désire vivement que le Bureau International soit muni d'un pont pour thermomètre à résistance. Il est lui-même en correspondance suivie avec le Bureau International, et un pont conforme aux exigences modernes pourrait être acquis au prix d'environ 3 000 000 francs français, somme considérable en comparaison de la dotation du Bureau International. Il approuve le vœu exprimé par M. VOLET. En 1952, le Comité Consultatif de Thermométrie avait déjà émis l'opinion qu'il était très souhaitable que le Bureau International ait les moyens matériels d'utiliser lui-même le thermomètre à résistance offert par le National Physical Laboratory, et qu'il puisse en tirer une précision analogue à celle des meilleures comparaisons effectuées dans le monde.

M. TIMMERMANS juge ce souhait trop limité, et s'accorde avec M. HALL pour ne pas le restreindre à l'acquisition d'un pont de Smith et à l'utilisation de thermomètres à résistance.

M. KONDRATIEV précise la question : non seulement l'équipement du Bureau International est insuffisant pour la comparaison des thermomètres à résistance, mais il lui faudrait encore les appareils et le personnel nécessaires pour la comparaison des lampes étalons pyrométriques, étalons très importants pour la technique. Ces problèmes se posent d'une façon concrète.

M. le PRÉSIDENT met aux voix la proposition 4 suivante, qui est adoptée à l'unanimité :

PROPOSITION 4.

Le Comité Consultatif de Thermométrie recommande que le Bureau International des Poids et Mesures soit équipé en vue de pouvoir réaliser l'Échelle Internationale de Température dans toute son étendue et avec la plus haute précision possible.

M. le PRÉSIDENT ayant abordé le projet de comparaison de lampes pyrométriques, M. BARBER rappelle qu'un échange entre le National Physical Laboratory et l'Australie est en cours; mais le personnel du National Physical Laboratory est trop limité pour prendre à sa charge des comparaisons plus étendues (*cf.* Annexe T 25, p. T 177).

M. MOSER sait que le Deutsches Amt für Mass und Gewicht désire participer à des comparaisons de lampes pyrométriques, et que la Physikalisch-Technische Bundesanstalt y prendrait part également.

M. HALL a vu en Hollande des lampes spéciales; leur ampoule est munie d'une fenêtre plane dont on peut mesurer la transmission; pour des comparaisons internationales, elles conviendraient mieux que les lampes qu'il utilise et qui sont fabriquées en Angleterre.

M. HALL suggère que les Laboratoires intéressés corres-

pondent entre eux pour essayer d'organiser de telles comparaisons.

M. BRICKWEDDE rappelle qu'en 1952, le Comité Consultatif de Thermométrie a estimé que les critères de pureté du thermocouple figurant dans l'Échelle Internationale devaient être modifiés, et a proposé de nouvelles formules.

M. KONDRATIEV a constaté en U. R. S. S. que les critères proposés en 1952 élimineraient le platine le plus pur, tandis que les propriétés du platine moins pur sont conformes à ces critères. Une nouvelle révision sera donc sans doute nécessaire. M. KONDRATIEV ne peut répondre dès maintenant à M. BRICKWEDDE, qui demande comment les critères de 1952 devraient être modifiés pour que le platine pur expérimenté en U. R. S. S. soit inclus dans les tolérances.

M. Van DIJK s'étonne, car la pureté du platine utilisé par Corruccini aux États-Unis était caractérisée par un rapport $\frac{R_{100}}{R_0}$ égal à 1,392 7; or, d'après M. KONDRATIEV, le rapport relatif au platine le plus pur a été trouvé en U. R. S. S. égal à 1,392 5; ce dernier platine serait donc un peu moins pur que celui de Corruccini.

M. MOSER suggère que ce désaccord pourrait provenir d'une différence dans la proportion de rhodium.

M. KONDRATIEV pense que cette discordance pourrait s'expliquer encore par le fait que l'allure de la courbe qui exprime la relation entre la force électromotrice d'un thermocouple et la température varie notablement pour des thermocouples étalons, tandis que la pureté des composants ne diffère pas beaucoup.

M. DE BOER, d'accord avec M. KONDRATIEV, conclut que de nouvelles expériences sont encore nécessaires avant

que l'on ne revienne sur les critères proposés en 1952, et qu'il est sage de ne pas modifier l'Échelle Internationale sur la foi de résultats encore discutés.

Parmi les questions diverses de l'Ordre du Jour, M. VOLET tient à signaler au Comité les travaux d'intérêt pratique pour la mesure des températures ordinaires, effectués au Bureau International des Poids et Mesures et concernant particulièrement les thermomètres à mercure avec enveloppe de silice fondue (Annexe T 26, p. T 182).

La stabilité de la silice autorise l'espoir de reproduire l'Échelle Internationale avec une précision de 0,001 degré par le moyen de simples thermomètres à mercure. Les expériences de M. Moreau au Bureau International sont très encourageantes. La difficulté actuelle est de se procurer des capillaires suffisamment réguliers. Leur fabrication est en progrès en France, en Allemagne et en Angleterre.

M. HALL dit qu'il est heureux de collaborer avec le Bureau International dans ces recherches. Il signale qu'en plus de leur intérêt pour les mesures courantes, ces thermomètres à mercure en silice offrent le moyen de comparer avec une précision extrême la dilatabilité de ces deux corps. Des recherches de ce genre sont amorcées avec M. Moreau.

Répondant à M. TIMMERMANS, M. Moreau précise que la silice est beaucoup plus stable que le verre Iéna 16^{III}. La position du zéro d'un thermomètre n'a pratiquement pas varié après des chauffes à 400° C pendant plusieurs heures; même après 600° C environ, les phénomènes d'hystérésis ne se manifestent que par des déplacements du zéro de quelques centièmes de degré.

M. MOSER signale que l'on trouve en Allemagne des thermomètres en silice contenant du gallium ; ils sont d'une précision moindre, mais permettent des mesures jusqu'à 1 000° C.

M. VOLET mentionne encore un travail récent de M. Leclerc au Bureau International, sur l'emploi des thermistances en thermométrie de précision (Annexe T 27, p. T 185). Les conclusions de cette étude précisent les limitations d'emploi dues à l'instabilité de ces instruments ; leur domaine d'utilisation reste celui de la mesure des petits intervalles de température.

M. le PRÉSIDENT signale qu'il a reçu de l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO/TC 12) une lettre demandant au Comité Consultatif de Thermométrie de bien vouloir proposer une définition du « degré Kelvin » qui, après avoir été sanctionnée par la Conférence Générale des Poids et Mesures, pourrait être donnée dans les Recommandations de l'I. S. O.

M. le PRÉSIDENT dit que l'I. S. O. a déjà proposé une définition qui, mise à jour à la suite de l'adoption de l'échelle thermodynamique à un point fixe fondamental, deviendrait la suivante : « l'unité de température thermodynamique est définie, suivant les principes de la thermodynamique, en attribuant au point triple de l'eau la valeur numérique 273,16 degrés Kelvin exactement, ce point fixe étant défini en accord avec les décisions de la Conférence Générale des Poids et Mesures ».

M. VOLET voit dans cette rédaction plutôt la définition d'une *échelle* que celle d'une *unité*.

Il aurait préféré que l'on dise : « Le degré Kelvin (ou, plus simplement : le kelvin) est la variation de température qui provoque dans une certaine masse de gaz par-

fait un changement du produit $p\theta$ égal à $\frac{1}{273,16}$ de la valeur que ce produit prend à la température du point triple de l'eau ». Mais M. DE BOER objecte qu'il lui semble préférable de ne pas introduire la notion de gaz parfait dans la définition du degré de température. Il estime, de plus, que cette définition méconnaît le caractère intensif de la température.

M. TIMMERMANS ne comprend pas ce qu'est une unité de température.

M. le PRÉSIDENT reconnaît que cette grandeur possède un caractère particulier; la température est une grandeur intensive, et non extensive.

M. HALL et M. VOLET préféreraient parler d'unité *d'intervalle de température*, et non de *température*.

Après d'autres échanges de vues, M. DE BOER propose une seconde version : « Le degré Kelvin de l'échelle thermodynamique est défini, suivant les principes de la thermodynamique, en attribuant au point triple de l'eau la valeur numérique exacte 273,16 », et demande l'avis des Membres. Ceux-ci ne paraissant pas tous satisfaits, il est convenu de considérer cette définition comme une simple suggestion présentée à l'I. S. O.

Le Comité décide enfin que tous les documents présentés à l'occasion de cette session (à l'exception de deux qui ont été retirés par leurs auteurs parce qu'ils n'étaient plus d'actualité), étant rédigés sous une forme assez concise, devront être publiés intégralement en Annexes aux Procès-Verbaux.

M. VOLET prie les délégués de faire connaître très rapidement leurs observations au sujet du procès-verbal des séances qui leur sera envoyé dans quelques jours.

M. TIMMERMANS demande alors la parole et dit : « Ce n'est pas la compétence, ni l'ancienneté, mais mon âge qui me donne le privilège de féliciter notre Président pour la façon magistrale dont il a conduit nos débats. Il nous a dit au début qu'il avait hésité à accepter cette tâche, craignant de mal connaître les sujets à discuter ; mais il nous a montré au contraire sa grande compétence. Avec un aimable sourire, il est parvenu en trois séances à résoudre des difficultés qui auraient demandé à une conférence diplomatique peut-être un mois de débats. Je le remercie, au nom de vous tous, et me réjouis que son jeune âge nous garantisse de le voir conserver longtemps la présidence de ce Comité ».

M. le PRÉSIDENT remercie M. TIMMERMANS de ses paroles si bienveillantes. Il remercie aussi M. VOLET de son hospitalité et les délégués qui ont tous contribué au succès de cette session.

M. BRICKWEDDE joint sa voix à celle de M. TIMMERMANS. Il rappelle aussi que, il y a juste cent ans, Kelvin avait suggéré le changement de définition de la température thermodynamique qui vient d'être accepté par notre Comité. Il y a quatre-vingts ans, Mendéléév avait fait une proposition semblable. Il se plaît à célébrer ensemble ces deux grands précurseurs.

La séance est levée à 17^h 10^m.

QUATRIÈME RAPPORT
DU
COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE
AU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES.

Par J. A. HALL, Rapporteur.

Le Comité a tenu trois réunions, le lundi 12 juillet et le mardi 13 juillet 1954 à Sèvres, au Bureau International des Poids et Mesures.

Étaient présents à ces réunions : M. DE BOER, Président, M. CASSINIS, Secrétaire du Comité International des Poids et Mesures, MM. BOZZA, BRICKWEDDE, VAN DIJK, HALL, KONDRATIEV, MOSER, PRESTON-THOMAS, TIMMERMANS, VOLET, Membres du Comité Consultatif de Thermométrie; MM. BARBER, BOURDOUN, DEBURE, SZASZ, TERRIEN, A. BONHOURE, MOREAU, GAUTIER, LECLERC, YOSHIE, invités.

M. TERRIEN fut nommé Secrétaire et M. HALL Rapporteur de la session.

Le Comité a appris avec regret la démission de M. SWIETOSLAWSKI, et il a été informé des excuses du

Directeur du Central Inspection Institute of Weights and Measures du Japon, qui s'est trouvé dans l'impossibilité d'envoyer un délégué, et qui a demandé que M. K. YOSHIE, assistant au Bureau International des Poids et Mesures, puisse suivre les travaux du Comité pour lui en rendre compte.

POINT DE FUSION DE LA GLACE.

Le Comité a accepté que l'expression *point de fusion de la glace* soit réservée pour la température réalisée physiquement à l'équilibre entre de l'eau et de la glace, et que la température conventionnelle inférieure de 0,01 degré à celle du point triple de l'eau soit appelée *point de glace*.

VALEUR DU POINT TRIPLE DE L'EAU DANS L'ÉCHELLE KELVIN.

Le Comité a soigneusement examiné les valeurs expérimentales connues de T_0 (valeur du point de glace dans l'échelle Kelvin actuelle, dans laquelle l'intervalle entre le point de glace et le point de vapeur est 100 degrés). Les résultats les plus importants comprennent un groupe de trois valeurs (Université de Leyde, P. T. B., Tokyo Institute of Technology) voisines de 273,15° K et une valeur (M. I. T.) voisine de 273,17° K. La moyenne des quatre valeurs, arrondie au centième de degré le plus proche, étant 273,15° K, ce nombre a été adopté à l'unanimité comme représentant la valeur la plus probable.

On a discuté ensuite la valeur la plus convenable à adopter pour le point triple de l'eau dans la nouvelle

échelle Kelvin à un point fixe. Il a été signalé que des tables existantes sont établies sur la base de $273,17^{\circ}$ K, mais il a été admis que, ces tables n'étant pas en général exactes à $1/30\ 000$ en valeur relative, il serait préférable d'adopter la valeur $273,16^{\circ}$ K, afin de rester en conformité avec la valeur la meilleure du point de glace sur laquelle on venait de s'accorder.

La proposition suivante a été adoptée à l'unanimité :

PROPOSITION 1.

Le Comité Consultatif de Thermométrie recommande que l'on définisse désormais l'échelle thermodynamique au moyen d'un point fixe fondamental, le point triple de l'eau.

Après avoir considéré soigneusement tous les résultats numériques obtenus jusqu'ici, le Comité Consultatif de Thermométrie estime que la valeur la meilleure pour la température du point triple de l'eau est $273,16^{\circ}$ K dans l'échelle thermodynamique utilisée jusqu'à maintenant.

En conséquence, il recommande que l'on attribue par définition à la température du point triple de l'eau, dans l'échelle thermodynamique à un point fixe fondamental, la valeur numérique $273,16^{\circ}$ K exactement.

Il a été convenu que l'on apporterait à l'Introduction de l'Échelle Internationale de Température les légères modifications nécessaires pour la mettre en harmonie avec la proposition précédente.

Le Comité a approuvé à l'unanimité les désignations et les abréviations présentées au tableau suivant, dans lequel les flèches indiquent le sens du passage de la température définie en premier lieu à la température dérivée par changement d'origine.

ÉCHELLE INTERNATIONALE (1).

Température internationale t	→	Température internationale Kelvin $T_{\text{int}} = t + 273,1500$
indication de l'unité : °C (Int. 1948) degré Celsius international 1948	↑	indication de l'unité : °K (Int. 1948) degré Kelvin international 1948

ÉCHELLE THERMODYNAMIQUE (1).

Température thermodynamique Celsius $t_{\text{th}} = T - 273,1500$	←	Température thermodynamique T
indication de l'unité : °C (therm.) degré Celsius thermodynamique	↑	indication de l'unité : °K degré Kelvin

RÉALISATION DE L'ATMOSPHÈRE NORMALE.

Le Comité a reconnu l'intérêt qu'il y aurait à rapporter toutes les mesures manométriques à un système gravimétrique de référence commun. Le « système de Potsdam » répond à cette condition, et bien que l'on sache qu'il n'est pas tout à fait exact, son adoption garantirait que les mesures de différents laboratoires sont en tout cas cohérentes. Le Comité a donc adopté la proposition suivante :

PROPOSITION 2.

Le Comité Consultatif de Thermométrie recommande que les valeurs de la gravité qui interviennent dans la détermination pratique de la pression atmosphérique normale, soient exprimées dans le système de Potsdam, jusqu'à ce que la Conférence Générale des Poids et Mesures ait sanctionné un changement de ce système.

(1) Voir note (1), page T 23.

INTERCOMPARAISON DE THERMOMÈTRES A RÉSISTANCE.

Il a été rendu compte des mesures faites sur des thermomètres à résistance de platine au point triple et au point d'ébullition de l'eau au National Physical Laboratory, au National Bureau of Standards, au Massachusetts Institute of Technology, à la Physikalisch-Technische Bundesanstalt et à l'Université de Leyde; les résultats ont montré que ces laboratoires sont d'accord sur l'intervalle fondamental à $\pm 0,001$ degré près.

Les thermomètres, après leur étude en cours à l'Institut de Métrologie Mendéléev (U. R. S. S.), doivent servir à de nouvelles mesures dans d'autres Laboratoires, en particulier à l'Institute of Technology (Japon) et au National Standards Laboratory (Australie).

La mise en train d'une autre intercomparaison de thermomètres au point triple de l'eau et au point d'ébullition de l'oxygène a été approuvée.

INTERCOMPARAISON DE LAMPES A RUBAN DE TUNGSTÈNE.

On a approuvé le projet d'une intercomparaison des échelles des divers laboratoires nationaux au-dessus du point de l'or par échange de lampes à ruban de tungstène.

EXTENSION DE L'ÉCHELLE DU THERMOMÈTRE A RÉSISTANCE AU-DESSUS DE 630,5° C.

Le Comité a pris connaissance des résultats de mesures rapportés par l'Institut de Métrologie Mendéléev, la P. T. B. et le N. P. L. aux points de solidification de l'or et de l'argent au moyen du thermomètre à résistance

de platine. Tous ces résultats sont en excellent accord. Des expériences relatées par le National Research Council du Canada et par l'Institut de Métrologie Mendéléév laissent penser qu'il pourrait être avantageux de remplacer le point d'ébullition du soufre par le point de solidification du zinc en tant que point fixe primaire. Le Comité a en conséquence adopté à l'unanimité la proposition suivante :

PROPOSITION 3.

Le Comité Consultatif de Thermométrie estime que, dans un proche avenir, il peut être désirable de réviser l'Échelle Internationale de Température dans la région comprise entre les points du soufre et de l'or, afin d'obtenir une meilleure reproductibilité, une bonne continuité et une meilleure concordance avec l'échelle thermodynamique. Pour cette raison, le Comité Consultatif de Thermométrie recommande que les laboratoires intéressés fassent des études dans cette région de température. En particulier, il conviendrait d'étudier l'utilité du point de fusion du zinc comme point fixe primaire, les températures thermodynamiques du point de fusion de l'or et des différents points secondaires, ainsi que l'utilisation de thermomètres à résistance de platine.

THERMOMÈTRES A MERCURE A ENVELOPPE DE SILICE.

Il a été signalé au Comité que les thermomètres à mercure en silice construits pour le Bureau International des Poids et Mesures montrent une stabilité qui autorise l'espoir de mesures de température avec une exactitude de 0,001 degré. Le National Physical Laboratory collabore à l'étude de ces thermomètres par des comparaisons au thermomètre à résistance de platine. Ces mesures constitueraient une méthode sensible pour l'étude de la dilatabilité relative du mercure et de la silice fondue.

ÉQUIPEMENT DU BUREAU INTERNATIONAL.

Le Comité a exprimé avec vigueur l'opinion que le Bureau International devrait être équipé convenablement pour qu'il puisse réaliser l'Échelle Internationale avec une exactitude aussi grande que possible, et a adopté à l'unanimité la proposition suivante :

PROPOSITION 4.

Le Comité Consultatif de Thermométrie recommande que le Bureau International des Poids et Mesures soit équipé en vue de pouvoir réaliser l'Échelle Internationale de Température dans toute son étendue et avec la plus haute précision possible.

ANNIVERSAIRES.

A l'issue de ses travaux, le Comité a tenu à rappeler le centième et le quatre-vingtième anniversaire des propositions d'échelle thermodynamique à un point fixe de J. P. JOULE et W. THOMSON (Lord Kelvin), et de D. I. MENDELÉEV.

ANNEXE T 1.

RÉSOLUTIONS

DE L'UNION INTERNATIONALE
DE PHYSIQUE PURE ET APPLIQUÉE (U.I.P.P.A.)
ET DE L'UNION INTERNATIONALE
DE CHIMIE PURE ET APPLIQUÉE (U.I.C.P.A.)

La sixième Assemblée Générale de l'U. I. P. P. A., réunie à Amsterdam du 8 au 10 juillet 1948, a adopté à l'unanimité les résolutions suivantes sur la recommandation de sa Commission « SUN » (Symboles, Unités, Nomenclature) :

« a. Il est proposé que la définition de l'échelle thermodynamique absolue de température soit basée sur un seul point fixe. La détermination numérique de ce point devrait être choisie une fois pour toutes par le Comité International des Poids et Mesures, de façon que l'accord soit aussi étroit que possible avec l'échelle Kelvin actuelle de température. »

« b. Il est proposé que ce point fixe soit le point triple de l'eau ».

*
**

Le 4 août 1953, à Stockholm, le Conseil de l'U. I. C. P. A. a sanctionné la résolution suivante soutenue par sa Commission de Thermodynamique chimique et approuvée par la Section de Chimie physique :

« 1. L'U. I. C. P. A. note avec satisfaction que le Comité International des Poids et Mesures a déjà adopté en principe la proposition Giauque-Kelvin tendant à définir l'échelle thermodynamique absolue par un point fixe réalisable, le point triple de l'eau, et le zéro absolu de température. »

« 2. L'U. I. C. P. A. demande au Comité International des Poids

et Mesures de donner suite, lors de sa session de 1954, à son adoption de principe en choisissant la valeur numérique à assigner au point fixe réalisable. »

« 3. L'U. I. C. P. A. propose que, dans le choix de la valeur numérique de la température absolue du point triple de l'eau, le Comité International des Poids et Mesures prenne en considération les points suivants : (a) que la valeur soit choisie au centième de degré le plus proche de façon qu'elle donne au degré la même grandeur que dans l'échelle Celsius actuelle; (b) que, si deux valeurs satisfont également la condition précédente, l'on décide en faveur de celle qui change le moins les tables de données thermodynamiques existant actuellement. »

*
**

En juillet 1954, à Londres, l'U. I. P. P. A. a adopté la résolution suivante sur la recommandation de sa Commission « SUN » :

« L'U. I. P. P. A. a accueilli favorablement la décision de la Conférence Générale des Poids et Mesures de 1948, admettant le principe d'une échelle thermodynamique de température basée sur un seul point fixe, qui sera le point triple de l'eau;

« regrette que la valeur numérique qui doit être assignée à ce point fixe ne soit pas encore fixée;

« souligne qu'il serait préférable de choisir immédiatement et définitivement la valeur numérique qui doit être assignée au point triple de l'eau, plutôt que d'attendre le résultat d'autres expériences, ou une analyse plus approfondie des résultats existants. »

ANNEXE T 2.

National Bureau of Standards
et Massachusetts Institute of Technology
(États-Unis d'Amérique).

SUR LA TEMPÉRATURE
DU POINT DE FUSION DE LA GLACE
DANS L'ÉCHELLE KELVIN

par H. F. STIMSON et J. A. BEATTIE.

(Traduction.)

A la Neuvième Conférence Générale des Poids et Mesures la résolution suivante a été adoptée : « Le Comité Consultatif admet le principe d'une échelle thermodynamique absolue ne comportant qu'un seul point fixe fondamental, constitué actuellement par le point triple de l'eau pure, dont la température absolue sera fixée ultérieurement. L'introduction de cette nouvelle échelle n'affecte en rien l'usage de l'Échelle Internationale, qui reste l'échelle pratique recommandée. »

Le fait de spécifier le point triple de l'eau au lieu du point de fusion de la glace comme point fixe fondamental n'introduit aucune incohérence, car une résolution précédente adoptée à la même session établit que : « En l'état actuel de la technique, le point triple de l'eau est susceptible de constituer un repère thermométrique avec une précision plus élevée que le point de fusion de la glace. En conséquence, le Comité Consultatif estime que le zéro de l'échelle thermodynamique centésimale doit être défini comme étant la température inférieure de 0,0100 degré à celle du point triple de l'eau pure. » La différence entre le point de fusion de la glace et le point triple de l'eau étant donnée, la valeur de l'un résulte directement de la valeur de l'autre.

Dans son Rapport concernant la réunion du Comité Consultatif de Thermométrie de juin 1952, p. T 27, J. A. Hall déclare que : « L'opinion unanime a été qu'il n'était pas possible de décider avec certitude entre les valeurs 273,15° K et 273,16° K pour le point de fusion de la glace dans l'échelle Kelvin et qu'il était préférable, en tous cas, d'attendre que les travaux actuellement en cours au Massachusetts Institute of Technology fussent achevés. »

Les travaux du Massachusetts Institute of Technology, mentionnés ci-dessus, ont été achevés pendant l'été 1952 et des thèses ont été rédigées sur ces travaux : une de Joseph T. Vanderslice (octobre 1952), une de James G. Tewksbury (octobre 1952) et une plus ancienne (1943) de Edward R. Kane, relative à des travaux effectués il y a une dizaine d'années. Ces thèses sont déposées à la bibliothèque du Massachusetts Institute of Technology, où l'on peut en obtenir des copies sur microfilms; nous en présentons ici les résultats.

Les expériences ont été faites avec deux appareillages distincts qui seront désignés par « rouge » et « vert », en utilisant de l'hélium dans des ampoules de verre Iéna 1365^{III}. Le verre 1365^{III} est un verre thermométrique dont la dépression est si petite que son effet devrait être négligeable pour la thermométrie à gaz dans l'intervalle de température compris entre 0° C et 100° C.

Les deux mêmes ampoules ont été utilisées dans les expériences de 1952 et dans celles de 1941 et 1942, mais le manomètre et les tubes de connexion étaient entièrement nouveaux. Le volume des ampoules « rouge » et « verte » était environ 1 029 cm³ et 1 088 cm³ respectivement et le volume des espaces nuisibles correspondants était environ 1,5 et 1,2 cm³. L'ampoule des thermomètres était enfermée dans une enveloppe d'acier contenant le même gaz que l'ampoule et maintenue à la même pression. Malgré ces précautions, les résultats font apparaître quelque erreur systématique inexplicable.

La thèse de Kane donne les résultats de cinq séries d'observations pour chacun des deux thermomètres à gaz, le « rouge » et le « vert ». Chaque série comprend huit paires de déterminations de pression, l'une à 100° C et l'autre à 0° C le jour suivant. Les mesures ont été faites à cinq pressions nominales au point de fusion de la glace dans l'ordre suivant : 650 mm, 800 mm, 490 mm, 360 mm et 1 000 mm de mercure. On a corrigé l'imperfection du

thermomètre à gaz par la méthode donnée dans les *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, t. 77, 1945, p. 255, et l'imperfection du gaz thermométrique par les formules de Keyes concernant le second coefficient du viriel et publiées dans *Temperature, its Measurement and Control in Science and Industry* (1941). Les résultats suivants ont été obtenus finalement :

Pression (mm Hg) à ° C.	Rouge (° K).	Vert (° K).
650.....	273,1618	273,1624
800.....	1690	1756
490.....	1775	1829
360.....	1796	2059
1000.....	1535	1747
Moyenne.....	273,1683	273,1803
Moyenne générale...	273,1743° K	

La thèse de Vanderslice expose les résultats de deux séries de dix paires de déterminations de pression, une avec chacun des deux thermomètres à gaz à la pression nominale de 1000 mm au point de fusion de la glace. On a tenu compte des imperfections du gaz par des corrections utilisant quatre formules différentes; ces corrections se dispersent sur un domaine total de 0,014 degré, mais pour la comparaison avec les résultats de Kane, nous ne donnons ici que ceux qui utilisent la formule de Keyes. Les corrections qui utilisent les formules de Keyes fournissent des valeurs plus élevées que celles de la moyenne des quatre formules, la différence étant quatre à sept millièmes de degré. Les formules de Keyes ont donné les valeurs suivantes :

Pression (mm Hg).	Rouge (° K).	Vert (° K).
1000.....	273,193	273,183
Moyenne....	273,188° K	

La thèse de Tewksbury donne les résultats de trois séries de cinq paires de déterminations de pression, avec le thermomètre à gaz « rouge » seulement, aux pressions nominales au point de glace de 600 mm, 700 mm (1) et 700 mm (2). Les résultats, corrigés

de l'imperfection du gaz par les formules de Keyes, sont les suivants :

Pression (mm Hg).	Rouge (° K).
600.....	273,179
700 (1).....	273,186
700 (2).....	273,208
Moyenne.....	<u>273,191</u>

Les résultats relatés par Tewksbury sont obtenus uniquement par le thermomètre à gaz « rouge », tandis que les autres résultats du MIT ont été obtenus avec les deux thermomètres. Les valeurs de T_0 obtenues avec l'ampoule « verte » étant apparemment plus basses, on a soupçonné qu'un peu de mercure était entré dans l'ampoule avant les mesures à la pression nominale au point de glace de 600 et 700 mm. Lorsque les expériences ont été achevées et que les ampoules ont été enlevées, on a trouvé du mercure dans l'ampoule verte, ce qui confirmait ce soupçon.

Si la quantité de mercure présent dans l'ampoule était suffisante pour saturer tout son volume, sa pression partielle serait environ 0,273 mm à 100° C, mais seulement 0,0002 mm à 0° C. Ce mercure ne s'échapperait pas rapidement par diffusion car, même si tout le mercure était à l'état de vapeur à 100° C, il faudrait plusieurs semaines pour qu'il diffuse à travers l'hélium. Ce mercure provoquerait un excès de pression pendant les mesures à 100° C et il en résulterait un abaissement de la valeur déduite pour T_0 d'environ 0,2 degré, même lorsque la pression au point de glace atteignait 1000 mm. Si la quantité de mercure présent était assez faible pour saturer partiellement le volume de l'ampoule à 100° C, l'erreur qui en résulte sur la valeur de T_0 ne serait qu'une partie de celle qui vient d'être indiquée. De toute évidence c'est ce qui s'est produit.

D'autres causes d'erreur, telles que la présence de gaz adsorbé sur les parois de l'ampoule, l'introduction d'air dans l'hélium de l'ampoule par des fuites, ou une mauvaise évacuation de l'espace au-dessus du mercure dans la longue branche du manomètre, conduiraient toutes à des valeurs trop basses de T_0 , mais il est difficile d'imaginer des causes vraisemblables d'erreur systématique qui fourniraient des valeurs trop élevées de T_0 .

Le coefficient de dilatation thermique moyen d'échantillons du

verre Iéna 1365^{III} dont étaient constituées les ampoules a été déterminé par interférométrie au Massachusetts Institute of Technology en 1938, et l'on a obtenu $9,31 \cdot 10^{-6}$ par degré C. Après l'achèvement des mesures de 1952, on a effectué plusieurs autres déterminations sur les ampoules elles-mêmes en les remplissant de mercure à 0° C, en les chauffant à 100° C et en pesant le mercure chassé. La moyenne de ces dernières valeurs de la dilatation thermique est $9,23 \cdot 10^{-6}$ par degré C. Cette valeur confirme celle qui a été obtenue par les interférences, cependant la valeur $9,31 \cdot 10^{-6}$ a été choisie pour le calcul de T_0 . Les thèses de 1952 indiquent quand même que si l'on avait utilisé la dilatation la plus basse, la valeur de T_0 aurait été augmentée de 0,008 degré.

Les écarts types des moyennes pour les valeurs de T_0 dans les expériences du MIT sont plus grands lorsque la pression dans l'ampoule était plus basse, comme prévu. La moyenne des écarts types des résultats moyens, pour 15 séries de paires de mesures, ne s'élève qu'à environ 0,0035 degré. Et pourtant, trois des séries des déterminations du MIT fournissent des valeurs de T_0 qui sont environ 0,02 degré plus élevées que l'ensemble des autres séries.

Les valeurs données dans la thèse de Kane présentent une marche nette avec le temps. La tendance vers des valeurs de plus en plus élevées pour les quatre premières pressions au point de glace peut avoir eu pour cause des dérives excessives de la résistance des bobines du pont pendant les mois d'hiver. Les dernières mesures de pression au point de glace ont été faites à la fin du printemps et les valeurs obtenues sont plus basses. Dans l'appareil du MIT, on a réalisé le point de fusion de la glace et le point d'ébullition de l'eau dans un bain liquide agité dont la température était déterminée avec plusieurs thermomètres à résistance de platine et un pont de Mueller. Ces instruments n'ont pas été étalonnés aussi fréquemment que nous désirerions maintenant qu'ils l'eussent été, de telle sorte qu'il subsiste quelque doute sur les températures effectivement réalisées. Les thèses de 1952 se prêteraient moins à cette critique, car les instruments ont cette fois été étalonnés plus fréquemment.

Pour chacune des trois premières pressions au point de glace de la thèse de Kane, les résultats obtenus avec le thermomètre « rouge » et avec le « vert » présentent une concordance assez

bonne, mais aux deux dernières pressions au point de glace, le thermomètre « vert » fournit des valeurs qui sont plus élevées de plus de 0,02 degré. Ce désaccord ne peut pas être attribué à une dérive du pont puisque les mesures ont été faites avec le même pont, les deux ampoules étant dans le même bain au même moment. Dans la thèse de Tewksbury, la seconde série de mesures, à la pression au point de fusion de la glace de 700 mm, avec l'ampoule du thermomètre « rouge » fournit également une valeur élevée. Ces différences dans les valeurs de T_0 provenant de divers remplissages des ampoules thermométriques sont très déconcertantes. Elles impliquent des erreurs systématiques, cela est vrai, mais puisqu'aucune n'a encore été capable d'expliquer de telles différences, il semble que la seule conclusion possible soit que des erreurs systématiques peuvent encore rester inexplicées dans toute thermométrie à gaz et que la valeur exacte de T_0 est beaucoup plus incertaine qu'on ne le soupçonnait lorsque Hall a fait la déclaration citée plus haut dans son Rapport concernant la réunion de 1952.

Nous pouvons nous résumer de la façon suivante. Les mesures du MIT avec de l'hélium dans des ampoules de verre Iéna 1368^{III} ont donné les valeurs moyennes suivantes pour T_0 : 273,174°K (1942) et 273,190° K (1952), la moyenne étant 273,182° K. Les mesures publiées précédemment par le MIT avec de l'azote dans des ampoules de silice vitreuse ont donné la valeur moyenne 273,166° K (1937). La moyenne des résultats moyens obtenus avec l'hélium et avec l'azote est 273,174° K. A notre avis, cette dernière valeur représente la meilleure estimation de la température absolue du point de fusion de la glace que l'on puisse déduire de tout le travail effectué au MIT.

(12 février 1954.)

ANNEXE T 3.

National Bureau of Standards (États-Unis d'Amérique).

PROPOSITION CONCERNANT L'ÉCHELLE GIAUQUE-KELVIN

(Traduction.)

Le National Bureau of Standards demande au Comité Consultatif de Thermométrie auprès du Comité International des Poids et Mesures qu'il choisisse un nombre pour la température du point triple de l'eau en vue de définir une échelle thermodynamique absolue de température fondée sur un seul point fixe (proposition Giauque-Kelvin), et qu'il prenne les dispositions nécessaires pour rendre effective cette nouvelle définition en 1954, si possible.

En 1948, le Comité Consultatif de Thermométrie a proposé les deux résolutions suivantes, qui ont été approuvées par la Neuvième Conférence Générale des Poids et Mesures (1948).

« 1. En l'état actuel de la technique, le point triple de l'eau est susceptible de constituer un repère thermométrique avec une précision plus élevée que le point de fusion de la glace.

« En conséquence, le Comité Consultatif estime que le zéro de l'échelle thermodynamique centésimale doit être défini comme étant la température inférieure de 0,0100 degré à celle du point triple de l'eau pure. »

« 2. Le Comité Consultatif admet le principe d'une échelle thermodynamique absolue ne comportant qu'un seul point fixe fondamental, constitué actuellement par le point triple de l'eau pure, dont la température absolue sera fixée ultérieurement.

« L'introduction de cette nouvelle échelle n'affecte en rien l'usage de l'Échelle Internationale, qui reste l'échelle pratique recommandée ».

La Sixième Assemblée Générale de l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée, réunie à Amsterdam du 8 au 10 juillet 1948, a adopté à l'unanimité les résolutions suivantes sur la recommandation de sa Commission Symboles, Unités, Nomenclature :

(Voir le texte de ces résolutions à l'Annexe T 1, p. T 51).

Le 4 août 1953, le Conseil de l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée a sanctionné la résolution suivante soutenue par sa Commission de Thermodynamique Chimique et approuvée par la Section de Chimie Physique :

(Voir le texte de cette résolution à l'Annexe T 1, p. T 51).

Le National Research Council des États-Unis a créé, en juin 1953, un Comité Spécial de l'Échelle de Température afin de rassembler les opinions des savants américains intéressés par l'adoption de la définition proposée d'une échelle thermodynamique fondée sur un *seul* point fixe reproductible. Ce Comité du National Research Council a trouvé et noté dans son Rapport que les savants américains intéressés sont fortement favorables à :

1° Donner suite dès maintenant à la résolution adoptée en 1948 par la Neuvième Conférence Générale des Poids et Mesures, en fait, sanctionner la définition de l'échelle thermodynamique fondée sur un *seul* point fixe réalisable, choisir et adopter officiellement un nombre défini pour le point triple de l'eau et prendre toute disposition nécessaire pour faire entrer en vigueur la nouvelle définition en 1954 par accord international.

2° Choisir 273,17° K pour la température du point triple de l'eau dans la nouvelle échelle thermodynamique.

3° Donner la priorité à l'obtention d'un accord international en 1954 sur un nombre pour le point triple et sur la mise en vigueur de la nouvelle définition de l'échelle thermodynamique, de préférence à un accord sur la valeur 273,17° K.

Les désirs des savants américains au sujet de l'échelle thermodynamique, tels qu'ils sont rapportés ci-dessus par le National Research Council, seront soutenus par le National Bureau of Standards au Comité Consultatif de Thermométrie. Le National Bureau of Standards insiste auprès du Comité Consultatif et du Comité International des Poids et Mesures pour que la mise en vigueur de la nouvelle définition soit rendue possible en 1954 par accord international.

Les avantages d'une échelle thermodynamique fondée sur un *seul* point fixe réalisable sont les suivants :

1° L'utilisation d'un thermomètre à gaz pour les mesures fondamentales de température sera simplifiée. Les inexactitudes dans son utilisation causées par les incertitudes dans la détermination du point d'ébullition de l'eau seront éliminées.

2° La relation entre la température du point triple de l'eau dans l'échelle thermodynamique et dans l'Échelle Internationale de Température (0,01 °C) sera fixée par définition.

3° Les erreurs probables de deux constantes physiques fondamentales, la constante des gaz R et la constante de Boltzmann k , seront diminuées. En effet, la détermination de ces constantes implique l'usage d'une échelle thermodynamique absolue

$$R = \frac{(pV)_T}{T} \quad \text{et} \quad k = \frac{R}{N_0}.$$

Selon la nouvelle définition, R serait évalué au point triple de l'eau, point pour lequel T aura une valeur spécifiée sans aucune erreur expérimentale. A présent, l'incertitude sur la température thermodynamique absolue du point de fusion de la glace doit être ajoutée à l'incertitude sur R et k .

Les raisons essentielles pour lesquelles les savants américains préfèrent 273,17° K pour le point triple de l'eau dans la nouvelle échelle sont (1) :

(1) Ce paragraphe a été écrit avant qu'aient été reçus les documents de M. H. Van Dijk et de M. J. Otto (Annexes T 5, p. T 66 et T 6, p. T 78).

1° L'usage s'est établi aux Etats-Unis, depuis 1939, d'utiliser pour le point de fusion de la glace la valeur $273,16^{\circ}$ K. Pratiquement toutes les tables usuelles de propriétés thermodynamiques sont fondées sur $273,16^{\circ}$ K pour le point de fusion de la glace. Si l'on choisit $273,17^{\circ}$ K pour le point triple de l'eau, ces tables continueront à être utilisables sans changement.

2° Les Américains croient réellement que $273,17^{\circ}$ K est la « meilleure » valeur actuelle pour le point triple de l'eau ($273,16^{\circ}$ K pour le point de fusion de la glace). Toutes les tables américaines des « meilleures » valeurs des constantes physiques fondamentales depuis 1939 donnent $273,16^{\circ}$ K pour le point de fusion de la glace. De plus, $273,16^{\circ}$ K se trouve compris entre, d'une part, les deux valeurs expérimentales basses $273,15^{\circ}$ K du Kamerlingh Onnes Laboratorium, Université de Leyde, et de l'Université de Tokyo, et d'autre part la valeur élevée $273,17$ à $273,18^{\circ}$ K pour le point de fusion de la glace rapportée par le Professeur J. A. Beattie (Massachusetts Institute of Technology) (2). En outre, la valeur la « meilleure » que nous recommandons, $273,16^{\circ}$ K pour le point de fusion de la glace, coïncide avec la valeur obtenue par la Physikalisch-Technische Reichsanstalt d'après les mesures de ce laboratoire.

J. P. Joule et William Thomson ont recommandé en 1854 (3) la définition de l'échelle thermodynamique fondée sur un *seul* point fixe réalisable et, dans la référence citée, ils ont écrit que cette définition « doit être adoptée finalement ». Quelle date conviendrait mieux que cette année-ci — exactement cent ans plus tard — pour faire ce changement que Joule et Thomson prévoient devoir se réaliser finalement ?

(2 mars 1954.)

(2) Cf. Annexe T 2, p. T 53.

(3) J. P. JOULE et W. THOMSON, *Phil. Trans. Roy. Soc.*, t. 144, 1854, p. 321.

ANNEXE T 4.

Tokyo Institute of Technology (Japan).

COMMENTAIRES SUR LA PROPOSITION
DU NATIONAL BUREAU OF STANDARDS
CONCERNANT
LA MEILLEURE VALEUR DU POINT DE GLACE

par J. OISHI.

A la réunion de 1952 du Comité Consultatif de Thermométrie auprès du Comité International des Poids et Mesures, on a été d'accord pour que la meilleure valeur de T_0 , température du point de fusion de la glace dans l'échelle thermodynamique, soit choisie pour le moment en tenant compte des expériences postérieures à 1929. Les résultats des mesures à considérer sont donnés dans le tableau suivant, les valeurs de T_0 étant celles qui ont été adoptées par les divers laboratoires d'après leurs propres mesures.

Laboratoire.	Année.	T_0 .
P. T. R. ⁽¹⁾	1929-1930	273,158° K
Leiden ⁽²⁾	1934	273,147
T. I. T. ^(*) ⁽³⁾	1937-1942	273,15
M. I. T. ⁽⁴⁾	1939-1952	273,174

(*) Tokyo Institute of Technology.

(¹) HEUSE, OTTO, MOSER.

H. MOSER et J. OTTO, *Procès-Verbaux des Séances du Comité*

A la fin du mémorandum du National Bureau of Standards (cf. Annexe T 3, p. T 59), on trouve à la page T 62, dans le paragraphe 2 de la partie concernant les « raisons essentielles pour lesquelles les savants américains préfèrent $273,17^{\circ}$ K pour le point triple de l'eau ($273,16^{\circ}$ K pour le point de fusion de la glace) dans la nouvelle échelle » : « Les Américains croient réellement que $273,17^{\circ}$ K est la « meilleure » valeur actuelle pour le point triple de l'eau ($273,16^{\circ}$ K pour le point de fusion de la glace). Toutes les tables américaines des « meilleures » valeurs des constantes physiques fondamentales depuis 1939 donnent $273,16^{\circ}$ K pour le point de fusion de la glace. De plus, $273,16^{\circ}$ K se trouve compris entre, d'une part, les deux valeurs expérimentales basses $273,15^{\circ}$ K du Kamerlingh Onnes Laboratorium, Université de Leyde, et de l'Université de Tokyo, et d'autre part la valeur élevée $273,17$ à $273,18^{\circ}$ K pour le point de fusion de la glace rapportée par le Professeur J. A. Beattie (Massachusetts Institute of Technology). En outre, la valeur la « meilleure » que nous recommandons, $273,16^{\circ}$ K pour le point de fusion de la glace, coïncide avec la valeur obtenue par la Physikalisch-Technische Reichsanstalt d'après les mesures de ce laboratoire ».

Il a été mis en évidence par Cragoe ⁽⁵⁾ que les mesures de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt de 1929 comportaient des erreurs systématiques assez grandes dans les déterminations de pression. D'après l'analyse graphique faite par van Dijk ⁽⁶⁾ à Leyde, on doit aussi s'attendre à obtenir la valeur $273,15^{\circ}$ K pour la température absolue du point de glace si les erreurs systématiques sont éliminées de leurs mesures. Tenant compte de cette suggestion, Otto à la Physikalisch-Technische Bundesanstalt procède à de nouveaux calculs et il est probable qu'il aboutira à

Consultatif de Thermométrie, 1952, Annexe T 5, p. T 157.

(²) KEESOM, VAN DER HORST, TACONIS, VAN DIJK.

H. VAN DIJK, *Procès-Verbaux des Séances du Comité Consultatif de Thermométrie*, 1952, Annexe T 3, p. T 37.

(³) KINOSHITA, OISHI.

(⁴) BEATTIE, BENEDICT, BLAISDELL, KAYE, KANE, VANDERSLICE, TEWKSBURY, STINSON.

H. F. STINSON et J. A. BEATTIE, voir ce volume, Annexe T 2, p. T 53.

(⁵) G. S. CRAGOE, *Temperature*, Reinhold Publ. Corp., New York, 1941, p. 89.

(⁶) H. VAN DIJK, Communication privée, 1953.

corriger lui-même la valeur indiquée au tableau, valeur qui se rapprochera de $273,15^{\circ}$ K. Si la situation devenait telle que les trois laboratoires, P. T. R., Leyde, T. I. T., obtenaient $273,15^{\circ}$ K et que seul le M. I. T. présente des valeurs trop élevées ($273,17^{\circ}$ K à $273,18^{\circ}$ K), la proposition américaine de choisir $273,16^{\circ}$ K en tant que la meilleure valeur de T_0 recevrait-elle l'approbation internationale? Le Comité Consultatif de Thermométrie n'a pas cessé, *depuis sa première réunion de 1939*, de recommander $273,15^{\circ}$ K comme la meilleure valeur de T_0 . Je ne crois pas qu'il y ait aucun motif certain pour changer cette valeur qui existe aujourd'hui si l'on tient compte du degré d'incertitude actuel dans la détermination de la température par le thermomètre à gaz. Il me paraît prématuré actuellement de réviser la meilleure valeur de T_0 , car je crois que l'on devrait en premier lieu rechercher pourquoi les valeurs du M. I. T. sont les seules à être beaucoup plus élevées que celles des trois autres laboratoires.

(5 avril 1954.)

ANNEXE T 5.

Kamerlingh Onnes Laboratorium (Pays-Bas).

SUR LA TEMPÉRATURE ABSOLUE
DU POINT DE GLACE

par H. VAN DIJK.

(Traduction de l'allemand.)

On n'est pas encore arrivé à une décision sur la meilleure valeur de la température absolue du point de glace; c'est pourquoi je désire montrer qu'en utilisant les résultats publiés par

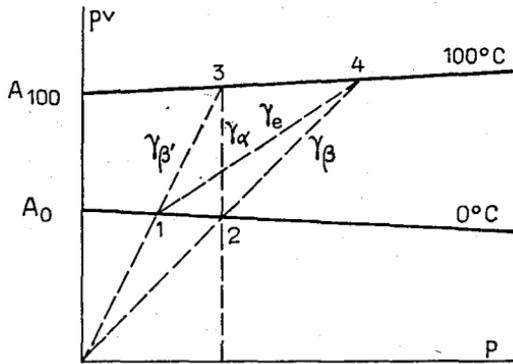


Fig. 1.

Heuse et Otto en 1929 et 1930, concernant la température absolue du point de glace, on peut obtenir pour cette température une valeur plus exacte que celle qui a été donnée autrefois par Heuse et Otto [1] puis par Moser et Otto [2]; cette valeur

plus exacte est en meilleur accord avec les derniers résultats des mesures de Leyde.

Cragoe a montré à ce sujet que les résultats sur He_1 , H_2 et N_2 contiennent certaines erreurs systématiques qu'il faudrait corriger. D'après lui, ces erreurs sont des erreurs dans les rapports de pression [1]. On peut montrer qu'il en est bien ainsi.

Dans la mesure sur une certaine masse de gaz interviennent

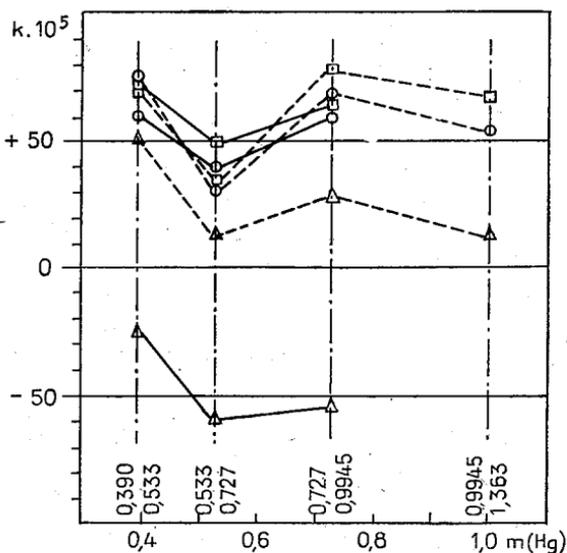


Fig. 2.

Δ N_2 ; \square H_2 ; \odot He.
 k_0 —; k_{100} - - -.

toujours quatre valeurs du produit $p\nu$. Ces quatre valeurs se placent dans le diagramme $p\nu - p$ comme l'indique la figure 1. Heuse et Otto ont déjà calculé la pente de l'isotherme 0°C d'après les valeurs de $p\nu$ et de p des points 1 et 2. On peut calculer de même la pente de l'isotherme 100°C d'après les valeurs $p\nu$ des points 3 et 4. Si l'on trace la courbe des pentes obtenues pour diverses masses de gaz en fonction de la plus petite (ou de la plus grande) des deux pressions auxquelles les valeurs de $p\nu$ correspondantes ont été déterminées, on voit aussitôt d'après la figure 2 que les valeurs des pentes contiennent des

erreurs systématiques, ces erreurs étant parallèles pour les isothermes à 100° et à 0° C.

Si l'on appelle v_0 le volume de la masse de gaz à 0° C et sous la pression unité et si l'on désigne par a et b deux points voisins sur l'isotherme, la pente k est donnée par

$$(1) \quad k = \frac{1}{v_0} \frac{p_b v_b - p_a v_a}{p_b - p_a} = \frac{\frac{p_b}{p_a} \frac{v_b}{v_a} - 1}{\frac{p_b}{p_a} - 1} \frac{v_a}{v_0}$$

Soient ε , ζ et δ les erreurs relatives de $\frac{p_b}{p_a}$, $\frac{v_b}{v_a}$ et $\frac{v_a}{v_0}$, et $\frac{\pi_b}{\pi_a}$, $\frac{\nu_b}{\nu_a}$ et $\frac{\nu_a}{\nu_0}$ les valeurs exactes correspondantes; l'expression de k peut s'écrire

$$k = \frac{\frac{\pi_b}{\pi_a} (1 + \varepsilon) \frac{\nu_b}{\nu_a} (1 + \zeta) - 1}{\frac{\pi_b}{\pi_a} (1 + \varepsilon) - 1} \frac{\nu_a}{\nu_0} (1 + \delta)$$

ou avec une exactitude suffisante :

$$k = \frac{\pi_b \nu_b - \pi_a \nu_a}{\nu_0 (\pi_b - \pi_a)} \left[1 + \frac{\pi_b \nu_b (\varepsilon + \zeta)}{\pi_b \nu_b - \pi_a \nu_a} - \frac{\pi_b \varepsilon}{\pi_b - \pi_a} + \delta \right].$$

La première des trois corrections est de beaucoup la plus considérable, car $\pi_b \nu_b$ est presque égal à $\pi_a \nu_a$. C'est pourquoi nous ne considérerons que cette correction, ce qui permet d'écrire :

$$k = \frac{\pi_b \nu_b - \pi_a \nu_a}{\nu_0 (\pi_b - \pi_a)} + \frac{\pi_b}{\pi_b - \pi_a} \frac{\nu_b}{\nu_0} (\varepsilon + \zeta).$$

Les erreurs notables sur la valeur des pentes ne peuvent donc provenir que d'erreurs sur les rapports de pression ou sur les rapports de volume. Les erreurs systématiques proviennent des pressions et non des volumes; ceci est très vraisemblable car k_0 et k_{100} , lorsque p_a et p_b ont la même valeur sur les deux isothermes, présentent des écarts dans le même sens; ceci devient certain lorsque l'on calcule le rapport $\frac{T_{100}}{T_0}$ d'après deux valeurs de $p\nu$ prises sur des isothermes différentes, en utilisant une valeur constante de k_0 et de k_{100} . Lorsque la pression est la même pour

les deux valeurs de $p\rho$, $\frac{T_{100}}{T_0}$ (ou $1+100\gamma_\alpha$) ne montre aucune erreur systématique en fonction de p (fig. 3) mais, lorsque les

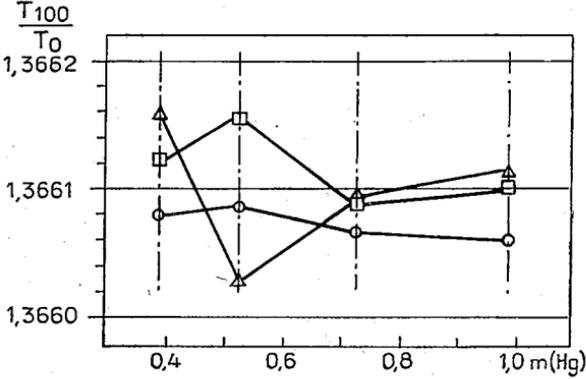


Fig. 3.

$$\frac{T_{100}}{T_0} = 1 + 100\gamma_\alpha.$$

\triangle N₂; \square H₂; \odot He.

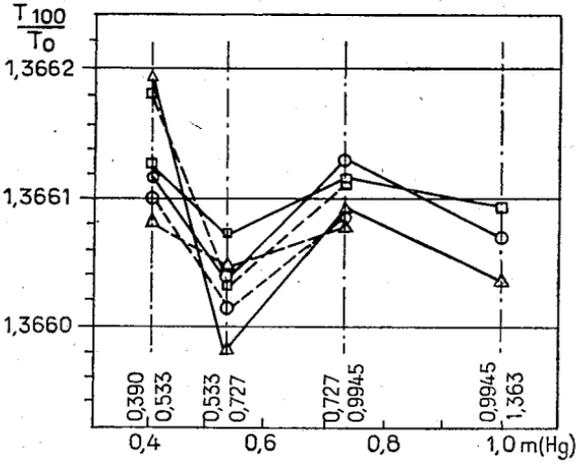


Fig. 4.

$(1+100\gamma_\beta)$ —; $(1+100\gamma_{\beta'})$ - - -.

\triangle N₂; \square H₂; \odot He.

volumes sont les mêmes (ou très voisins) apparaissent à nouveau des erreurs systématiques dans le même sens que celles des valeurs de k (*fig. 4*). C'est bien ce que l'on pouvait prévoir, car les expressions $(1 + 100\gamma\beta)$ et $(1 + 100\gamma\beta)$ sont proportionnelles au rapport $\frac{P_b}{P_a}$ et indépendantes de $\frac{v_a}{v_b}$, tandis que

$$(1 + 100\gamma) = \frac{P_{100} v_{100}}{P_0 v_0} (1 + k_0 P_0) - k_{100} P_{100}.$$

Comme l'a montré Cragoe on peut calculer l'erreur sur $\frac{P_b}{P_a}$.

On obtient facilement d'après l'équation (1)

$$\frac{P_b}{P_a} = \frac{\frac{v_a}{v_0} - k}{\frac{v_b}{v_0} - k}.$$

On peut donc obtenir une valeur plus exacte de $\frac{P_b}{P_a}$ d'après les valeurs connues de $\frac{v_a}{v_0}$ et $\frac{v_b}{v_0}$ lorsqu'on adopte les valeurs assez bien connues de k provenant d'autres expériences. C'est ce que nous avons fait pour les valeurs $\frac{P_b}{P_a}$ de l'isotherme 0° C et de l'isotherme 100° C, et nous avons calculé les valeurs $\frac{P_b}{P_a}$ du tableau I. Dans ce tableau $\left(\frac{P_b}{P_a}\right)_1$ a été calculé d'après le volume et $\left(\frac{P_b}{P_a}\right)_2$ d'après la distance observée des pointes du manomètre.

TABLEAU I.

P_a	P_b	$\left(\frac{P_b}{P_a}\right)_1$	$\left(\frac{P_b}{P_a}\right)_2$	$\Delta\left(\frac{P_b}{P_a}\right)$	$\Delta\gamma$
0,390 24	0,533 10	1,366 056	1,366 082	-26.10 ⁻⁶	-26.10 ⁻⁸
0,533 10	0,727 17	1,364 096	1,364 041	+55	+55
0,727 17	0,994 50	1,367 621	1,367 631	-10	-10
0,994 50	1,362 80	1,370 368	1,370 337	+31	+31
0,390 24	0,727 17	1,863 432	1,863 392	+40	+29
0,533 10	0,994 50	1,865 566	1,865 505	+61	+45
0,727 17	1,362 80	1,874 144	1,874 115	+29	+21

Si l'on utilise les nouvelles valeurs obtenues de $\frac{Pb}{Pa}$ pour le calcul de $(1+100\gamma_\beta)$ et $(1+100\gamma_\beta)$, les erreurs systématiques disparaissent entièrement comme le montre la figure 5. De plus, si l'on calcule $(1+100\gamma_e)$ avec les valeurs anciennes et les valeurs nouvelles de $\frac{Pb}{Pa}$ et que l'on porte les résultats sur un gra-

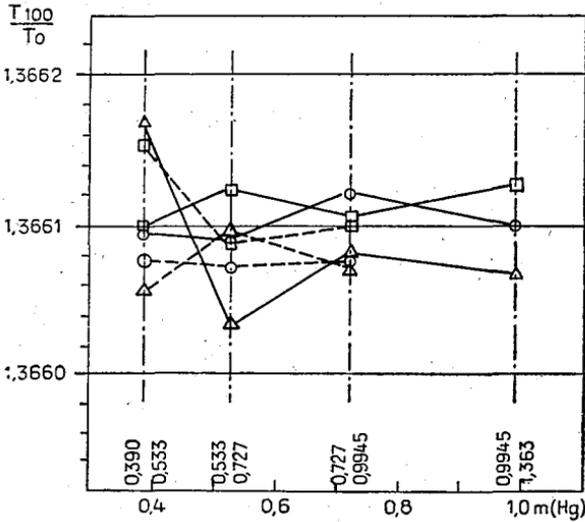


Fig. 5.

$(1+100\gamma_\beta)_c$ ———; $(1+100\gamma_\beta)_{c'}$ - - - - -
 \triangle N_2 ; \square H_2 ; \odot He.

phique (fig. 6) il devient clair que les anciennes valeurs $\frac{Pb}{Pa}$ donnent des valeurs de γ_e trop petites. En général, les erreurs systématiques de $\frac{Pb}{Pa}$ ont conduit à des valeurs trop petites de γ_β , γ_β , et γ_e , et après la correction des valeurs de $\frac{Pb}{Pa}$ la valeur moyenne de γ , tirée de γ_α , γ_β , γ_β , et γ_e , se situe au voisinage de 0,003 661 0. En utilisant pour le calcul de γ les valeurs originales de k de Heuse et Otto [2], nous avons obtenu 0,003 660 94 pour la moyenne établie selon les recommandations de Moser et Otto [3].

Comme on peut le voir d'après les graphiques, les valeurs de γ qui ont été calculées pour N_2 avec les valeurs de k utilisées par Heuse et Otto sont plus petites en général que les valeurs calculées pour He, H_2 et Ne. A notre avis, la cause de ces valeurs trop petites de γ pour N_2 provient des valeurs de k utilisées par Heuse et Otto; ces valeurs sont différentes de celles qui ont été trouvées *expérimentalement* à Berlin pour 0 et $100^\circ C$ [4] et de

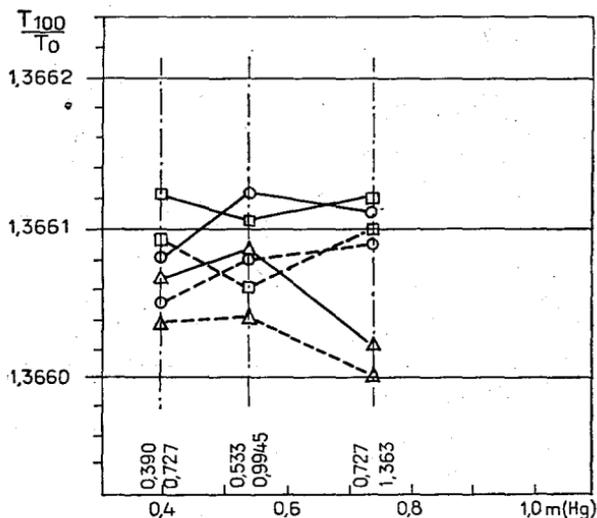


Fig. 6.

$(1 + 100\gamma_c)_c$ —; $(1 + 100\gamma_c)$ ----.
 Δ N_2 ; \square H_2 ; \circ He.

celles qui ont été obtenues par Keesom et Tuyn [5], par Keyes [6], par Cragoe et Oishi [7]. Si l'on utilise pour N_2 les valeurs moyennes établies par Oishi, on trouve comme moyenne générale d'après les résultats cités par Heuse et Otto :

$$\gamma = 0,003\ 661\ 01.$$

Ceci donne pour la température du point de glace :

$$T_0 = 273,149^\circ K \quad (1).$$

(1) Ainsi que je l'ai appris après l'établissement de ce rapport, le

Le tableau II contient les valeurs calculées par nous d'après les résultats originaux de Heuse et Otto ainsi que leurs valeurs moyennes. Le tableau III contient les valeurs moyennes que l'on obtient lorsqu'on utilise pour les valeurs de k_0 et de k_{100} relatives à N_2 les valeurs moyennes calculées par Oishi.

Heuse et Otto n'ont utilisé autrefois qu'une partie des résultats expérimentaux pour le calcul de γ . Il n'ont calculé que $\bar{\gamma}_{\alpha\beta}$. De même Moser et Otto [3] ont, semble-t-il, fixé une valeur de $\bar{\gamma}_{\alpha\beta}$ pour conclure. Ce faisant, ils n'ont pas éliminé les erreurs signalées par Cragoe dans les rapports de pression et ils n'ont pas utilisé pour k_0 et k_{100} les meilleures valeurs que l'on connaisse actuellement.

Les moyennes générales

$$10^8 \cdot \bar{\gamma}_{\alpha\beta'\beta e} = 366\ 101 \quad \text{et} \quad 10^8 \cdot \bar{\gamma}_{\alpha\beta'\beta e} = 366\ 103$$

sont presque égales. Parmi les moyennes données primitivement par Heuse et Otto c'est $\bar{\gamma}_\alpha$ qui se rapproche le plus de notre moyenne générale, car $\bar{\gamma}_\alpha$ ne contient pas l'erreur des rapports de pression.

Si l'on utilise la valeur de γ calculée par nous d'après les résultats originaux de Heuse et Otto, il ne reste plus aucune différence entre les meilleurs résultats obtenus à Berlin, à Tokyo et à Leyde, qui tous donnent pour T_0 une valeur égale à 273,15° K ou une valeur inférieure de quelques millièmes de degré. Seul Beattie et ses collaborateurs ont trouvé au M. I. T. une valeur plus élevée de T_0 par une méthode moins directe. D'après la Note de H. F. Stimson et J. A. Beattie (*cf.* Annexe T 2, p. T 53), il apparaît que cette méthode, en tout cas pour l'hélium, n'a pas donné de résultats très reproductibles. Si l'on doit donc recommander en 1954 une valeur internationale pour T_0 , c'est toujours 273,15 °K qui reste la meilleure valeur que l'on puisse choisir. Cette dernière s'accorde également, ainsi qu'on l'a indiqué au Comité Consultatif de Thermométrie de 1952 [8], avec une valeur moyenne dans laquelle est considérée la valeur obtenue par Beattie pour N_2 .

Docteur Otto est arrivé indépendamment au même résultat par un nouveau calcul tout à fait semblable (*Cf.* Annexe T 6, p. T 78).

TABLEAU II.

Gaz.	Pression à 0 °C (m Hg).	Coefficient de pression — $10^8 \cdot \gamma_a$.	$\frac{P_b}{P_a}$ d'après la distance observée des pointes du manomètre.			$\frac{P_b}{P_a}$ d'après les volumes.			
			$10^8 \cdot \gamma_{\beta'}$.	$10^8 \cdot \gamma_{\beta}$.	$10^8 \cdot \gamma_a$.	$10^8 \cdot \gamma_{\beta'}$.	$10^8 \cdot \gamma_{\beta}$.	$10^8 \cdot \gamma_a$.	
He.	$10^5 \cdot p_0$.	39 024	366 077	366 102	366 120	366 050	366 076	366 094	366 079
		53 310	086	017	034	078	072	089	123
		72 717	069	085	130	090	075	120	111
		99 450	062	—	067	—	—	098	—
	$10^8 \cdot \bar{\gamma}$	366 073 ₅	366 068	366 088	366 073	366 074	366 109	366 104	
$10^8 \cdot \check{\gamma}$	071	067 ₅	088 ₅	077	074	102	107		
H ₂ .	$10^5 \cdot p_0$.	39 024	366 123	366 179	366 124	366 093	366 153	366 098	366 122
		53 310	154	031	068	060	086	123	105
		72 717	086	108	115	099	098	105	120
		99 450	103	—	094	—	—	125	—
	$10^8 \cdot \bar{\gamma}$	366 116	366 106	366 100	366 084	366 112	366 113	366 116	
$10^8 \cdot \check{\gamma}$	112	100	099	085	107	115	116		

TABLEAU II (suite).

Gaz.	Pression à 0° C (m Hg).	Coefficient de pression				$\frac{P_b}{P_a}$ d'après la distance observée des points du manomètre.			$\frac{P_b}{P_a}$ d'après les volumes.		
		$10^8 \cdot \gamma_{\alpha}$	$10^8 \cdot \gamma_{\beta}$	$10^8 \cdot \gamma_{\beta}$	$10^8 \cdot \gamma_{\epsilon}$	$10^8 \cdot \gamma_{\beta}$	$10^8 \cdot \gamma_{\beta}$	$10^8 \cdot \gamma_{\epsilon}$			
N ₂ .	$10^5 \cdot p_0$.	39 024	366 158	366 081	366 194	366 037	366 055	366 168	366 066	| T 73 |	
		53 310	022	041	5 978	040	096	033	085		
		72 717	092	079	6 091	001	069	081	022		
		99 450	112	-	034	-	-	065	-		
	$10^8 \cdot \bar{\gamma}$	366 096	366 067	366 074	366 026	366 073	366 087	366 058			
$10^8 \cdot \tilde{\gamma}$	095	067	062	022	074	078	053				
Ne.	$10^5 \cdot p_0$.	99 450	366 122	366 111	366 086	366 075	366 101	366 117	366 096		
	$10^8 \cdot \bar{\gamma}$	366 102	366 085 _s	366 087	366 064 _s	366 090	366 104	366 093 _s			
	$10^8 \cdot \tilde{\gamma}$	096	082	083	063	087	101	093			
$10^8 \cdot \bar{\bar{\gamma}}_{\alpha\beta\beta\epsilon} = 366 085$	$10^8 \cdot \bar{\bar{\gamma}}_{\alpha\beta} = 366 094s$	||		$10^8 \cdot \bar{\bar{\gamma}}_{\alpha\beta} = 366 103$	$10^8 \cdot \bar{\bar{\gamma}}_{\alpha\beta\beta\epsilon} = 366 097$						
$10^8 \cdot \bar{\bar{\gamma}}_{\alpha\beta\beta\epsilon} = 366 081$	$10^8 \cdot \bar{\bar{\gamma}}_{\alpha\beta} = 366 089s$	||		$10^8 \cdot \bar{\bar{\gamma}}_{\alpha\beta} = 366 098s$	$10^8 \cdot \bar{\bar{\gamma}}_{\alpha\beta\beta\epsilon} = 366 094$						

— Moyenne arithmétique; ~ Moyenne pondérée.

TABLEAU III.

Gaz.	$\gamma_{\alpha} \cdot 10^8.$	$\tilde{\gamma}_{\alpha} \cdot 10^8.$	$\gamma_{\beta} \cdot 10^8.$	$\tilde{\gamma}_{\beta} \cdot 10^8.$	$\bar{\gamma}_{\beta} \cdot 10^8.$	$\tilde{\gamma}_{\beta} \cdot 10^8.$	$\bar{\gamma}_{\alpha} \cdot 10^8.$	$\tilde{\gamma}_{\alpha} \cdot 10^8.$
He.....	366 073 ₅	366 071	366 074	366 074	366 100	366 102	366 104	366 107
H ₂	366 116	366 112	366 112	366 107	366 113	366 115	366 116	366 116
N ₂	366 120	366 122	366 093	366 095	366 110	366 104	366 079	366 075
Ne.....	366 122	366 122	366 101	366 101	366 117	366 117	366 096	366 096
$\bar{\gamma} \cdot 10^8$	366 108	-	366 095	-	366 110	-	366 099	-
$\tilde{\gamma} \cdot 10^8$	-	366 104	-	366 093	-	366 108	-	366 099
$\bar{\gamma}_{\alpha\beta\beta e} \cdot 10^8 = 366 101$		$\bar{\gamma}_{\alpha\beta\beta e} \cdot 10^8 = 366 103$		$\bar{\gamma}_{\alpha\beta} \cdot 10^8 = 366 106$		$\bar{\gamma}_{\alpha\beta} \cdot 10^8 = 366 109$		

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] C. S. CRAGOE, *Temperature*, Reinhold Publishing Corporation, New York, 1941, p. 89.
 - [2] HEUSE et OTTO, *Ann. Physik*, t. 2, 1929, p. 1012 et t. 4, 1930, p. 778.
 - [3] *Procès-Verbaux du Comité Consultatif de Thermométrie*, 1952, Annexe T 5, p. T 57.
 - [4] *loc. cit.* [1]; *Z. Physik*, t. 33, 1925, p. 9 et t. 38, 1926, p. 365.
 - [5] *Comm. Leiden*, Suppl. n° 78, 1936.
 - [6] F. G. KEYES, *Temperature*, 1941, p. 45.
 - [7] J. OISHI, *J. Sc. Res. Inst.*, t. 43, 1949, p. 220.
 - [8] *Procès-Verbaux du Comité Consultatif de Thermométrie* 1952, Annexe T 3, p. T 40.
-

ANNEXE T 6.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Allemagne).

NOUVEAU CALCUL DE LA VALEUR LIMITE
DES COEFFICIENTS DE DILATATION
ET D'AUGMENTATION DE PRESSION
DE L'HÉLIUM, DE L'HYDROGÈNE, DE L'AZOTE
ET DU NÉON,
D'APRÈS LES DERNIÈRES MESURES
DE LA PHYSIKALISCH-TECHNISCHE REICHSANSTALT (1)

par J. OTTO

(Traduction.)

Le calcul des valeurs limites γ , d'après les coefficients de dilatation α et les coefficients d'augmentation de pression β obtenus expérimentalement, nécessite la connaissance des valeurs des pentes $k = \left[\frac{d(pv)}{dp} \right]_{p=0}$ des isothermes 0 et 100° C. Le calcul de la valeur limite $\gamma\beta$ à partir du coefficient d'augmentation de pression β , exige en outre que l'on connaisse avec une grande exactitude le rapport des pressions p_b et p_a entre lesquelles on a déterminé le coefficient d'augmentation de pression.

Cragoe (2) a établi dans son important rapport critique sur *Les pentes des isothermes $p\nu$* que les méthodes de calcul des valeurs k

(1) W. HEUSE et J. OTTO, *Ann. Physik*, (5), t. 2, 1929, p. 1012; t. 4, 1930, p. 778.

(2) C. S. CRAGOE, *Temperature*, Reinhold Publishing Corporation, New York, 1941, p. 89.

sont susceptibles d'amélioration. En outre, il a attiré l'attention sur le fait que l'on peut calculer très exactement le rapport des pressions $\frac{p_b}{p_a}$ (p_a , pression du gaz à 0°C; p_b , pression du gaz à 100°C) nécessaire pour le calcul des valeurs γ_β , à partir des volumes correspondant aux pressions p_a et p_b sur l'isotherme 0°C.

Van Dijk a indiqué dans une communication privée comment l'on peut également calculer $\frac{p_b}{p_a}$ à partir des valeurs expérimentales α et β . Il a en outre établi que l'emploi des rapports de pression ainsi obtenus dans le calcul des valeurs de γ_β à partir des valeurs de β , éliminait les écarts systématiques qui se manifestaient précédemment.

Sur la base de ces données, les constantes de l'équation d'état

$$pv = A + Bp + Cp^2 + \dots$$

ont été à nouveau calculées par la méthode des moindres carrés pour l'ensemble des isothermes mesurées à la P. T. R. ⁽³⁾. Comme le domaine de température des isothermes mesurées pour l'ensemble des gaz qui nous intéressent ici, l'oxygène excepté, s'étend sur plusieurs centaines de degrés, les valeurs compensées du deuxième coefficient du viriel B ont été également obtenues par la méthode des moindres carrés (tableau I) à l'aide de la relation

$$B = a + bT + \frac{c}{T} + \frac{e}{T^3}.$$

Ce tableau contient en outre les formules et constantes nécessaires au calcul des valeurs de γ .

Dans le tableau II, on a rassemblé les valeurs nouvellement calculées de $\frac{p_b}{p_a}$ et on les a comparées aux valeurs indiquées par Cragoe et van Dijk. L'accord des valeurs moyennes est tout à fait satisfaisant.

Le tableau III contient le nouveau calcul des valeurs de β à partir des valeurs expérimentales β' indiquées auparavant.

Dans le tableau IV on a rassemblé, afin de les confronter, les valeurs nouvellement calculées et les valeurs primitivement

⁽³⁾ Résumé dans WIEN-HARMS, *Handb. Experimentalphysik*, VIII-2 Leipzig, 1929, p. 143 (He), p. 147 (Ne), p. 161 (H₂), p. 167 (N₂), p. 175 (O₂).

obtenues pour γ_α et γ_β . On voit dans les colonnes 3 et 5 que les erreurs systématiques obtenues précédemment pour les valeurs de γ_β sont éliminées et que la dispersion des valeurs individuelles est nettement plus faible qu'auparavant. On remarque en outre que les moyennes des valeurs de γ_α et de γ_β diffèrent moins l'une de l'autre qu'autrefois. C'est pourquoi on doit attribuer une plus grande probabilité à la nouvelle valeur obtenue

$$\underline{T_0 = 273,149^\circ\text{K}},$$

qu'à la valeur indiquée précédemment (*) $T_0 = 273,158^\circ\text{K}$.

TABLEAU I.

Second coefficient du viriel B de l'équation d'état
 $p v = A + B p + C p^2 + \dots$ ($p v = 1$ à 0°C et 1 atm)
et formules pour le calcul des valeurs limites γ .

$$B = A + b T + \frac{c}{T} + \frac{e}{T^3} \quad (T_0 = 273,16^\circ\text{K});$$

$$\gamma_\alpha = \alpha - p a K_\alpha; \quad K_\alpha = \frac{(k_{100} - k_0)(1 + 100\alpha)}{100(1 - k_0)};$$

$$\gamma_\beta = \beta - p a K_\beta; \quad K_\beta = \frac{(k_{100} - k_0)(1 + 100\beta)}{100(1 - k_0)}.$$

	He.	H ₂ .	N ₂ .	Ne.	O ₂ .
	Pour une unité de pression $p = 1$ atm.				
$\alpha \cdot 10^3 \dots$	0,638 73	1,274 93	2,642 62	0,953 71	-
$b \cdot 10^6 \dots$	-0,257 57	-0,637 41	-0,638 45	-0,274 34	-
$c \dots \dots$	-0,011 451	-0,129 869	-0,777 795	-0,110 184	-
$e \dots \dots$	-1,668 16	-15,056 11	-1977,335	-39,708 0	-
$B_0 \cdot 10^3 \dots$	52,6	62,5	-47,6	47,4	-99,0 (*)
$B_{100} \cdot 10^5 \dots$	51,2	68,9	28,2	55,5	-15,9 (*)

	Pour une unité de pression $p = 1$ m Hg.				
$k_0 \cdot 10^5 \dots$	69,3	82,2	-62,7	62,3	-130,3
$k_{100} \cdot 10^5 \dots$	67,4	90,6	37,1	73,1	-20,9
$K_\alpha \cdot 10^7 \dots$	-27,3	-21,7	+122,7	-12,0	-
$K_\beta \cdot 10^7 \dots$	-2,6	+11,5	+136,3	+14,7	-

(*) Valeur de B de l'équation d'état.

(4) H. MOSER et J. OTTO, *Procès-Verbaux des Séances Com. Int. des Poids et Mesures*, 1952, XXIII-B, p. T 57.

TABLEAU II.

Résumé des valeurs de $\frac{P_b}{P_a}$.

Gaz.	$\frac{P_b}{P_a}$			Cragoe. (4)	Van Dijk. (5)
	(1)	(2)	(3)		
	Otto.				
	(6) $\frac{P_b}{P_a} = \frac{0,533\ 10}{0,390\ 24} = 1,366\ 082.$				
He.....	1,366 066	1,366 039		1,366 067	
H ₂	1,366 059	1,366 083		1,366 056	
N ₂	1,366 025	1,366 043		1,366 031	
O ₂	1,366 077	-		1,366 076	
Moyenne.....	1,366 057	1,366 055	1,366 086	1,366 087	1,366 086
	(6) $\frac{P_b}{P_a} = \frac{0,727\ 17}{0,533\ 10} = 1,364\ 041.$				
He.....	1,364 092	1,364 091		1,364 093	
H ₂	1,364 096	1,364 127		1,364 094	
N ₂	1,364 091	1,364 080		1,364 100	
O ₂	1,364 057	-		1,364 081	
Moyenne.....	1,364 084	1,364 099	1,364 091	1,364 092	1,364 096
	(6) $\frac{P_b}{P_a} = \frac{0,994\ 50}{0,727\ 17} = 1,367\ 631.$				
He.....	1,367 606	1,367 570		1,367 608	
H ₂	1,367 626	1,367 604		1,367 624	
N ₂	1,367 664	1,367 624		1,367 675	
O ₂	1,367 629	-		1,367 651	
Ne.....	1,367 644	-		1,367 650	
Moyenne.....	1,367 634	1,367 599	1,367 621	1,367 642	1,367 621

TABLEAU II.

Résumé des valeurs de $\frac{P_b}{P_a}$ (suite).

Gaz.	$\frac{P_b}{P_a}$			Cragoe. (4)	Van Dijk. (5)
	(1)	(2)	(3)		
	Otto.				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	(6) $\frac{P_b}{P_a} = \frac{1,362\ 80}{0,994\ 50} = 1,370\ 337.$				
He.....		1,370 335			
H ₂		1,370 352			
N ₂		1,370 408			
Ne.....		1,370 368			
Moyenne.....		1,370 366	1,370 366		1,370 368

(1) Calculé à partir des valeurs des volumes V_a et V_b de l'isotherme 0°C à l'aide de la formule

$$\frac{P_b}{P_a} = \frac{V_a - V_b}{V_b - k_0 V_0}$$

(2) Calculé à partir des valeurs α et β d'après la formule

$$\frac{P_b}{P_a} = \frac{\frac{1 + 100\alpha}{P_a} - k_{100}}{\frac{1 + 100\beta}{P_b} - k_{100}}$$

(3) Moyenne générale des valeurs individuelles tirées des colonnes (1) et (2).

(4) D'après Cragoe (*Temperature*, 1941, p. 121), selon la méthode indiquée en (1).

(5) D'après une communication privée de van Dijk, 1952.

(6) Calculé d'après la distance observée des pointes du manomètre.

TABLEAU III.

Nouveau calcul des valeurs de β .

$$1 + \beta t = \frac{\left(\frac{p_b}{p_a}\right)_{\text{calc}}}{\left(\frac{p_b}{p_a}\right)_{\text{obs}}} (1 + \beta' t).$$

Échelon de pression.	$\frac{\left(\frac{p_b}{p_a}\right)_{\text{calc}}}{\left(\frac{p_b}{p_a}\right)_{\text{obs}}}$	
	$\left(\frac{p_b}{p_a}\right)_{\text{calc}}$	$\left(\frac{p_b}{p_a}\right)_{\text{obs}}$
(1).....	1,366 056	1,366 082
(2).....	1,364 091	1,364 041
(3).....	1,367 621	1,367 631
(4).....	1,370 366	1,370 337

Échelon de pression.	$1 + 100 \beta'$	$1 + 100 \beta$

Hélium.

(1).....	1,366 11	1,366 084
(2).....	1,366 02	1,366 071
(3).....	1,366 11	1,366 100
(4).....	1,366 04	1,366 069

Hydrogène.

(1).....	1,366 17	1,366 144
(2).....	1,366 13	1,366 181
(3).....	1,366 20	1,366 190
(4).....	1,366 21	1,366 239

Azote.

(1).....	1,366 73	1,366 704
(2).....	1,366 71	1,366 761
(3).....	1,367 09	1,367 080
(4).....	1,367 40	1,367 429

Néon.

(4).....	1,366 234	1,366 263
----------	-----------	-----------

TABLEAU IV.

Résumé des valeurs γ obtenues par différentes méthodes de calcul, d'après les mesures de la Physikalisch-Technische Reichsanstalt en 1929-1930.

p_a (m Hg).	$\gamma_a \cdot 10^7$. (1)	$\gamma_\beta \cdot 10^7$. (2)	$\gamma_\beta \cdot 10^7$. (3)	$\gamma_a \cdot 10^7$. (4)	$\gamma_\beta \cdot 10^7$. (5)
<i>Hélium.</i>					
0,390.....	36 608	36 612	36 609,5	36 607,6	36 609,4
0,533.....	36 609	36 603	36 608,5	36 608,5	36 608,5
0,727.....	36 607	36 613	36 612,0	36 606,8	36 611,9
0,994.....	36 606	36 607	36 609,6	36 606,1	36 609,5
Moyenne....	36 607,2	36 608,6	36 610,0	36 607,0	36 609,9
<i>Hydrogène.</i>					
0,390.....	36 612	36 612	36 609,8	36 612,5	36 609,9
0,533.....	36 615	36 607	36 611,9	36 615,6	36 612,0
0,727.....	36 609	36 611	36 610,5	36 608,8	36 610,6
0,994.....	36 610	36 609	36 612,3	36 610,6	36 612,4
Moyenne....	36 611,0	36 609,6	36 611,3	36 611,4	36 611,5
<i>Azote.</i>					
0,390.....	36 616	36 619	36 616,8	36 616,1	36 617,2
0,533.....	36 602	36 598	36 602,9	36 602,6	36 603,4
0,727.....	36 609	36 609	36 608,1	36 609,8	36 608,9
0,994.....	36 611	36 603	36 606,3	36 612,0	36 607,4
Moyenne....	36 609,3	36 605,9	36 607,6	36 610,1	36 608,4
<i>Néon.</i>					
0,994.....	36 612,2	36 608,6	36 611,5	36 612,8	36 611,7

TABLEAU IV (suite).

	Moyenne de chaque colonne.				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	36 609,5	36 608,1	36 609,9	36 609,9	36 610,2
	<u>(1) et (2).</u>		<u>(1) et (3).</u>		<u>(4) et (5).</u>
Moyenne des colonnes...	36 608,8		36 609,7		36 610,0
T ₀	273,158°K		273,152°K		273,149°K

(1) et (2) Valeurs originales d'après Heuse et Otto (*Ann. Physik*, (5), t. 2, 1929, p. 1027 et (5), t. 4, 1930, p. 779). Lors de la formation des moyennes, chaque valeur individuelle a été affectée d'un poids proportionnel à la pression initiale p_0 .

(3) Valeurs de la colonne (2) calculées d'après les rapports de pression obtenus à partir des valeurs des volumes et des coefficients de dilatation et d'augmentation de pression.

(4) et (5) Valeurs des colonnes (1) et (2) calculées d'après les valeurs de k_0 et k_{100} des isothermes de la P. T. R. obtenues par la méthode des moindres carrés, celles de la colonne (2) étant calculées en tenant compte en outre des nouveaux rapports de pression.

ANNEXE T 7.

Central Inspection Institute of Weights and Measures (Japon).

PROPOSITIONS PRÉSENTÉES AU COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE

1. *Température absolue du point de glace T_0 , et du point triple de l'eau pure T_{tr} .* — Les résultats annoncés tout récemment par le Massachusetts Institute of Technology ne satisfont pas entièrement notre attente. On pourra fixer plus tard la valeur de T_0 (ou de T_{tr}), mais pour le moment nous pensons qu'il est nécessaire d'échanger et de vérifier les rapports et les thèses sur ce sujet, ou de faire de nouvelles expériences. Ainsi, dans les six années à venir, les laboratoires de chaque pays doivent s'efforcer de déterminer la meilleure valeur pour ce point.

2. *Échelle thermodynamique absolue de température, fondée sur un seul point fixe réalisable.* — En cas d'adoption de l'échelle thermodynamique absolue de température fondée sur un seul point fixe réalisable, les différences de température dans cette échelle doivent concorder avec les différences de température dans l'échelle thermodynamique Celsius. Présentement, au point de vue de la précision réalisable, l'échelle thermodynamique absolue de température fondée sur un seul point fixe réalisable est inférieure à l'échelle Celsius. C'est pourquoi, avant d'adopter l'échelle thermodynamique absolue de température fondée sur un seul point fixe réalisable, il faut envisager les moyens d'atteindre dans cette échelle une précision égale ou supérieure à celle obtenue dans l'échelle Celsius utilisée depuis longtemps. Étant déterminée ainsi, cette nouvelle échelle ne nécessite pas la

notation G pour la distinguer des autres et la notation K utilisée jusqu'ici pour l'échelle Kelvin doit lui être appliquée.

3. *Projet de comparaison internationale de l'intervalle fondamental de l'échelle de température, par la circulation de thermomètres à résistance de platine.* — Nous sommes entièrement d'accord sur ce projet, et nous désirons y participer avec le laboratoire du Professeur Oishi (Institute of Technology, Tokyo). Cependant, il nous faut encore le temps d'effectuer les préparatifs nécessaires; aussi il serait souhaitable que l'on nous envoie les thermomètres à résistance de platine en fin de circulation.

4. *Projet de comparaison internationale de l'échelle pyrométrique par échange de lampes à ruban de tungstène.* — Nous approuvons le projet annoncé par la lettre du Bureau International des Poids et Mesures du 27 juin 1953 et nous avons l'intention d'y participer. Vu les circonstances dans notre pays, nous proposons ce qui suit :

- a. Date de mise en vigueur : automne 1955.
- b. Domaine de la température de brillance : 1000-1800° C.
- c. Système optique : verre rouge (longueur d'onde effective de la lumière : environ $0,65\mu$).

Nous pourrions envoyer au B. I. P. M. deux lampes étalonnées par notre laboratoire suivant les conditions ci-dessus.

ANNEXE T 8.

Bureau International des Poids et Mesures.

SUR LA NOTE DE U. STILLE :
QUELQUES REMARQUES DE PRINCIPE
SUR LA DÉSIGNATION
DES ÉCHELLES DE TEMPÉRATURE (1)

Par J. TERRIEN.

Mr. U. STILLE attire l'attention sur la multiplicité des échelles de température et sur l'inconvénient de désigner sous le même nom de degré Celsius le degré de l'échelle thermodynamique et le degré de l'Échelle Internationale. Il demande en conséquence que l'on convienne d'un nom particulier pour chaque échelle, condition nécessaire pour que soient évités des malentendus.

Il me semble difficile de caractériser une échelle de température par un seul nom. En effet, une telle échelle est définie par deux données : 1^o le choix d'une propriété physique variable avec la température; 2^o le choix de la valeur numérique attribuée à deux points fixes. Le plus simple serait donc de spécifier ces deux données par deux qualificatifs. Donnons quelques exemples :

Première donnée : propriété physique utilisée.

a1. Dilatation d'un gaz parfait, ou rendement d'un cycle de Carnot, ou toute autre propriété équivalente : toute échelle ainsi définie serait dite *thermodynamique*.

b1. Dilatation de l'hydrogène dans des conditions spécifiées : cette échelle a déjà été appelée *normale*.

(1) *Procès-Verbaux du Comité International des Poids et Mesures*, 2^e série, t. XXIII-A, 1952, p. 170.

Deuxième donnée : points fondamentaux.

a2. On attribue aux points de solidification et d'ébullition de l'eau les valeurs 0 et 100 : l'échelle est dite *Celsius*.

b2. On attribue au zéro absolu et au point de solidification de l'eau les valeurs 0 et 273,1... : l'échelle pourrait être dite *Giauque*.

c2. On attribue au zéro absolu la valeur 0 et à l'intervalle entre les points de solidification et d'ébullition de l'eau la valeur 100 : l'échelle pourrait être dite *Kelvin*.

Dans le cas de l'Échelle Internationale, dont la définition est exposée dans un texte officiel, son nom suffit pour la désigner sans ambiguïté, mais il faudrait éviter la notation abrégée °C, et s'astreindre à écrire °C (Int. 1948); si à l'avenir l'on étendait l'Échelle Internationale vers des températures très basses, et que l'on veuille éviter des nombres négatifs, des notations telles que °K (Int. ...) pourraient être adoptées. Cette façon de faire équivaldrait à désigner par (Int. ...) la propriété physique ou l'ensemble de quelques propriétés physiques servant à établir l'échelle, et par le symbole C ou K la deuxième convention nécessaire, celle qui fixe la valeur des points fondamentaux.

Nous proposerions volontiers les abréviations suivantes :

- ° C pour les échelles Celsius;
- ° K pour les échelles Kelvin;
- ° G pour les échelles Giauque.

Les températures seraient exprimées alors de la façon suivante, par exemple :

- | | |
|-----------------|-----------------------|
| ° K (Int. 1948) | ° K (thermodynamique) |
| ° C (Int. 1948) | ° C (thermodynamique) |
| | ° G (thermodynamique) |

(Pour une désignation grossièrement approchée, les notations ° C et ° K suffissent.)

Il semble que cette façon de procéder soit de nature à satisfaire assez simplement les exigences du langage scientifique.

ANNEXE T 9.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Allemagne).

PROPOSITION
EN VUE D'UNE DÉSIGNATION SANS ÉQUIVOQUE
DES GRANDEURS ET DES UNITÉS
DE TEMPÉRATURE
DANS DIFFÉRENTES ÉCHELLES
DE TEMPÉRATURE

Par H. MOSER.

(Traduction.)

Sous le titre « Quelques remarques de principe sur la désignation des échelles de température », U. Stille ⁽¹⁾ a attiré l'attention sur les différences de principe des échelles de température existantes, et sur la nécessité de définir d'une manière non équivoque les différentes grandeurs de température et leurs unités.

Lorsqu'on se penche sur ce problème, il semble intéressant de se limiter au plus petit nombre possible d'échelles de température et aux désignations °K et °C, qui sont les plus usitées. Ce but peut être atteint si l'on fait la remarque suivante : « Par la notion de température Kelvin et Celsius, et par les notations

(1) *Procès-Verbaux du Comité International des Poids et Mesures*, 2^e série, t. XXIII-A, 1952, p. 170.

de degré de température ° K et ° C on n'avance rien sur l'échelle de température elle-même, mais on exprime uniquement quelque chose sur le point zéro de cette échelle ».

Dans cette hypothèse on peut faire les propositions pratiques suivantes :

1. *Échelles TIT et TIP.* — On a besoin d'au moins deux échelles internationales de température fondamentales différentes, une thermodynamique (théorique) et une pratique. Actuellement on a défini plusieurs échelles thermodynamiques et une échelle pratique internationale de température. Parmi celles-ci, seule la dernière a été désignée par Échelle « Internationale ». Pour simplifier il semble utile de se limiter à une seule des échelles thermodynamiques précédentes, par exemple à l'échelle thermodynamique absolue à un seul point fixe, et de la désigner par :

« Échelle Internationale Thermodynamique de Température 1954 »
en abrégé : Échelle TIT 1954 ⁽²⁾.

La possibilité de modifications futures doit être prévue par l'addition d'un millésime, ainsi qu'il a déjà été fait pour l'Échelle Internationale de Température de 1948. Celle-ci, par suite de la définition d'une Échelle TIT, devrait être nommée :

« Échelle Internationale Pratique de Température 1954 »
en abrégé : Échelle TIP 1954 ⁽³⁾.

Nous nous limitons ainsi à deux échelles de température fondamentales différentes, pour les deux grandeurs fondamentales différentes : « Température thermodynamique » et « Température pratique ». On peut proposer les désignations suivantes pour les grandeurs et les degrés de température dans les deux échelles.

	Échelle TIT 1954.	Échelle TIP 1954.
Grandeur	{ T = temp. thermodyn. Kelvin	t = temp. pratique Celsius
Degré	° K (TIT 1954)	° C (TIP 1954)

⁽²⁾ TIT = « Température Internationale Thermodynamique »,
= « Temperature International Thermodynamical ».

⁽³⁾ TIP = « Température Internationale Pratique »,
= « Temperature International Practical ».

2. *Passage de la température Kelvin à la température Celsius.* — Les Échelles TIT et TIP étant fondamentalement différentes, il n'est pas possible de donner une relation mathématique entre T et t. La conversion d'une température Kelvin en température Celsius et inversement est cependant nécessaire. Elle ne peut être effectuée exactement qu'à l'intérieur de la même échelle. Posons

$$T_0 = 273,1..^{\circ}\text{K}(\text{TIT } 1954) = \left\{ \begin{array}{l} \text{Température} \\ \text{thermodynamique Kelvin} \\ \text{du point de fusion de la glace,} \end{array} \right.$$

et

$$t_0 = 273,1..^{\circ}\text{C}(\text{TIP } 1954) = \left\{ \begin{array}{l} \text{Valeur, changée de signe,} \\ \text{de la température pratique Celsius} \\ \text{du zéro absolu;} \end{array} \right.$$

nous pouvons alors déduire de T et t, par une simple translation d'échelle, les deux nouvelles grandeurs θ et Θ suivantes :

$$T - T_0 = \theta = \text{Température thermodynamique Celsius en } ^{\circ}\text{C}(\text{TIT } 1954),$$

$$t + t_0 \text{ (}^4\text{)} = \Theta = \text{Température pratique Kelvin (}^5\text{) en } ^{\circ}\text{K}(\text{TIP } 1954).$$

Comme par ce procédé on n'entreprend aucun changement fondamental d'échelle, mais seulement un changement d'origine (la grandeur « degré de température » reste inchangée), il n'apparaît pas utile d'adjoindre aux grandeurs θ et Θ deux nouvelles échelles de température. Il semble intéressant de ne parler que de deux nouvelles grandeurs obtenues par changement de l'origine.

(⁴) D'un point de vue purement théorique, il serait plus logique d'écrire $t - t_0$ et de poser

$$t_0 = -273,1..^{\circ}\text{C}(\text{TIP } 1954) = \left\{ \begin{array}{l} \text{température pratique Celsius} \\ \text{du zéro absolu.} \end{array} \right.$$

Cela risquerait d'amener pratiquement quelques erreurs de signe.

(⁵) L'introduction de cette température a déjà été proposée par H. F. STIMSON (*Procès-Verbaux des séances du Comité Consultatif de Thermométrie*, 1952, p. T 124).

3. *Résumé systématique :*

Échelle.....	TIT 1954.		TIP 1954.	
	Temp. thermodynam. Kelvin.	Temp. thermodynam. Celsius.	Temp. pratique Celsius.	Temp. pratique Kelvin.
Grandeur....				
Symbole...	T	θ	t	Θ
Relation...	$T = \theta + T_0$	$\theta = T - T_0$	$t = \Theta - t_0$	$\Theta = t + t_0$
Degré.....	° K(TIT 1954)	° C(TIT 1954)	° C(TIP 1954)	° K(TIP 1954)

On montre ainsi la possibilité d'employer là où cela apparaît nécessaire, des désignations d'unités et de température non équivoques.

ANNEXE T 10.

National Bureau of Standards (États-Unis d'Amérique).

COMMENTAIRES SUR LA NOMENCLATURE
DES ÉCHELLES DE TEMPÉRATURE

Par H. F. STIMSON.

(Traduction.)

Pour être utile, la désignation des échelles de température devrait être simple. D'après l'usage établi, les symboles °C et °K désignent maintenant les températures mesurées respectivement à partir du point de glace et à partir du zéro absolu. Un autre usage, peut-être moins répandu que le précédent, est de désigner par °C la température dans l'échelle pratique (Int. 1948) et par °K la température dans l'échelle thermodynamique. Ce dernier usage peut être encouragé. Il peut arriver, en traitant de questions théoriques par exemple, qu'il soit nécessaire et commode de se référer à des échelles particulières, mais, dans ces cas particuliers, on peut désigner les échelles par des noms ou des abréviations qui les spécifient clairement. Ce qui est important, c'est d'éviter toute ambiguïté.

M. Terrien et le Docteur Moser ont commenté la Note du Docteur Stille sur *Quelques remarques de principe sur la désignation des échelles de température*. L'un et l'autre ont proposé le symbole °G pour les températures dans la nouvelle échelle thermodynamique à un seul point fixe; probablement parce que ce symbole honorerait Giauque. L'opinion générale des savants des États-Unis, y compris le Professeur Giauque, semble être que ce symbole ne serait pas nécessaire ni désirable et qu'il

introduirait quelque confusion. Le symbole actuel °K désigne des températures dont les valeurs numériques sont presque identiques aux valeurs qui seraient désignées par le symbole proposé °G. Nous aurions alors la confusion inutile de deux désignations pour des températures de même grandeur.

La nouvelle échelle thermodynamique absolue est en réalité une définition de l'échelle thermodynamique destinée à remplacer l'ancienne échelle Kelvin selon le moyen qui a été précisément proposé par Kelvin, il y a de cela un siècle, dans *Phil. Trans.*, t. 144, 1854, p. 321. Lorsqu'elle sera adoptée, elle sera la première échelle Kelvin dont un point fixe aura une valeur numérique adoptée par accord international.

Dans sa proposition, Kelvin dit que, pour fixer l'unité ou le degré pour la mesure numérique de la température, nous sommes libres de choisir, ou bien un nombre pour le point de glace, ou bien un nombre pour la différence entre le point de glace et le point de vapeur, par exemple 100. Il dit ensuite : « La deuxième méthode est la seule qui puisse convenir dans l'état actuel de la science pour tenir compte de la nécessité de conserver une relation avec la thermométrie pratique en usage jusqu'à présent, mais la première est préférable en théorie et devra être finalement adoptée. » Cette citation convient aujourd'hui si parfaitement que, par respect pour Kelvin, nous ne pouvons mieux faire que de continuer à l'honorer par le symbole °K.

(20 mai 1954.)

ANNEXE T 11.

National Bureau of Standards (États-Unis d'Amérique).

RAPPORT SUR LES COMPARAISONS
DE L'INTERVALLE FONDAMENTAL
EFFECTUÉES AVEC LES THERMOMÈTRES
A RÉSISTANCE ÉTALONS R 10 ET S 167

Par H. F. STIMSON.

(Traduction.)

Le Comité Consultatif de Thermométrie a décidé en juin 1952 que le thermomètre désigné par R10, construit au National Physical Laboratory et donné au Bureau International des Poids et Mesures en 1950, serait utilisé pour contrôler l'identité de l'intervalle fondamental 0-100° C réalisé dans les divers Laboratoires nationaux. On espérait que des mesures pourraient être faites au National Bureau of Standards et au Massachusetts Institute of Technology avec ce thermomètre et avec un autre de fabrication américaine, et que ces deux thermomètres seraient retournés ensuite pour des mesures dans les laboratoires d'Europe. Le thermomètre R10 a été transporté par avion d'Angleterre à Washington entre le 4 et le 5 juillet 1952. Un autre thermomètre, désigné par S167, après avoir joué le rôle d'étalon de travail au N. B. S., a été choisi pour être joint au thermomètre anglais. Le thermomètre S167 avait été fait par C. H. Meyers qui a travaillé à l'amélioration de la construction des thermomètres à résistance de platine pendant de nombreuses années au N. B. S.

Ces deux thermomètres ont été étalonnés au N. B. S. dans la glace et la vapeur d'eau à cinq reprises différentes, en août 1952, au moyen d'un pont de Mueller de la Leeds and Northrup Company. Ils ont été ensuite transportés en automobile au M. I. T. où ils furent étalonnés le 20 août 1952 au moyen d'un pont de Mueller construit par la Eppley Company. Ils furent ensuite étalonnés à nouveau au N. B. S. le 23 août après leur retour en automobile. Pendant les trois semaines suivantes, le manomètre utilisé pour mesurer la pression de la vapeur a été démonté, examiné, vidé de son mercure, et remonté. Le mercure extrait a été analysé à la Division de Chimie du N. B. S., qui a trouvé une quantité d'impuretés inférieure à deux ou trois millièmes, donc négligeable. Le 15 septembre les thermomètres ont été réétalonnés après un nouveau remplissage du manomètre. Après quoi, l'eau de la chaudière a été extraite afin de contrôler sa pureté; sa conductivité a montré qu'elle était encore suffisamment pure. Elle a été remplacée par de l'eau fraîchement distillée et purgée d'air, et un dernier étalonnage a été fait le 17 septembre 1952. Le 18 septembre ces thermomètres ont été remis au Docteur Crittenden afin qu'il les transporte en Europe par bateau.

Avant les mesures destinées à la détermination du coefficient α , quelques essais ont été faits pour savoir à quelle profondeur ces thermomètres devaient être immergés afin que la résistance du thermomètre ne soit pas affectée par le transfert de chaleur venant de la salle. On a constitué un bain de glace avec une petite quantité de glace râpée et d'eau au fond d'un vase à vide dans lequel la bobine du thermomètre plongeait de quelques centimètres. Après mesure de la résistance, on a ajouté de l'eau et de la glace autour de la tige du thermomètre afin d'augmenter la profondeur d'immersion sans changer la position de la bobine dans la glace située tout près d'elle. La profondeur d'immersion a ainsi été augmentée graduellement jusqu'à ce qu'une nouvelle augmentation n'introduise plus de changement de la résistance. Des essais analogues ont été faits par immersion progressive dans le bain de vapeur. Lorsque les résultats de ces expériences sont traduits par une courbe en coordonnées semi-logarithmiques, ils montrent qu'une immersion de 26 cm est nécessaire dans les deux cas pour que l'effet de la conduction de la tige ne dépasse pas $10 \mu\Omega$ avec le thermomètre R10; pour le thermomètre S167, la profondeur correspondante est inférieure à 12 cm (*fig. 1*).

Dans nos mesures, les thermomètres ont été immergés à environ 33 cm dans le bain de vapeur et dans l'ampoule à point triple, et il ne doit pas subsister d'erreurs dues à une immersion insuffisante.

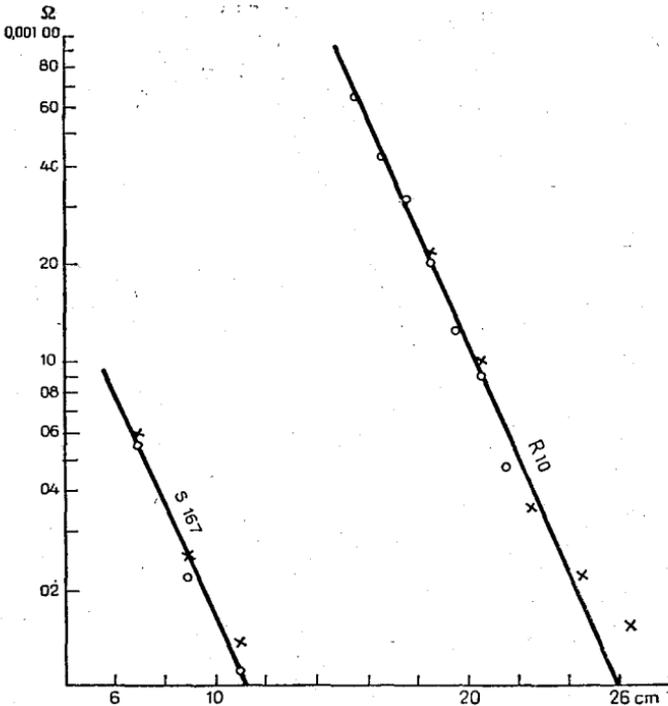


Fig. 1. — Expériences d'immersion dans la glace et la vapeur.

o Glace (30 juillet 1952);

× Vapeur (6 août 1952).

En abscisses : Profondeur d'immersion.

En ordonnées : Variation de la résistance.

Pendant les mesures de la résistance d'un thermomètre dans un bain, le courant électrique chauffe le fil de platine à une température supérieure à celle du bain, d'une quantité proportionnelle à la puissance dégagée dans la bobine. Dans cette discussion, les résistances R_0 et R_{100} sont les résistances lorsque le

platine du thermomètre est à 0° et 100° C, et non pas les résistances mesurées lorsque la paroi extérieure du tube thermométrique est à 0° et 100° C. La résistance de la bobine de platine à la température d'un point fixe peut être obtenue par des mesures avec deux intensités de courant différentes et une extrapolation à intensité nulle. On a utilisé des courants continus dont l'intensité (1,5 et 2,5 mA) était contrôlée par une méthode potentiométrique, et le rapport connu avec une exactitude d'un millième.

A chaque mesure de résistance et à chaque température, trois séries de 10 lectures étaient faites : d'abord 10 lectures à 1,5 mA, puis 10 lectures à 2,5 mA après une attente de quelques minutes pour la stabilisation des températures, enfin 10 nouvelles lectures à 1,5 mA après nouvelle stabilisation. Dans chaque série, la moitié des 10 lectures était faite avec le commutateur du pont dans la position normale (n) et l'autre moitié dans la position inverse (i) dans l'ordre suivant n-i-i-n-n-i-i-n-n-i. D'après ces mesures, un courant de 2 mA augmente la résistance du thermomètre R10 d'environ 460 $\mu\Omega$ et celle du thermomètre S167 d'environ 125 $\mu\Omega$ par rapport à un courant nul.

Le coefficient α est, par définition, $\frac{R_{100} - R_0}{100 R_0}$; lorsqu'un courant de mesure (par exemple 2 mA) parcourt la bobine du thermomètre, les résistances prennent des valeurs plus élevées

$$R_0 + \Delta R_0 \quad \text{et} \quad R_{100} + \Delta R_{100}.$$

Si nous appelons α_{Δ} le coefficient apparent pour ce courant de mesure, alors

$$\alpha_{\Delta} = \frac{(R_{100} + \Delta R_{100}) - (R_0 + \Delta R_0)}{100(R_0 + \Delta R_0)}.$$

Cette expression peut s'écrire

$$\begin{aligned} \alpha_{\Delta} &= \frac{R_{100} - R_0}{100 R_0} + \frac{\Delta R_{100} - \left(\frac{R_{100}}{R_0}\right) \Delta R_0}{100(R_0 + \Delta R_0)} \\ &= \alpha + \frac{\Delta R_{100} - \left(\frac{R_{100}}{R_0}\right) \Delta R_0}{100(R_0 + \Delta R_0)}. \end{aligned}$$

Avec un courant donné de mesure, la puissance dissipée dans une bobine est proportionnelle à sa résistance, et à 100° C la

puissance dissipée est plus grande qu'à 0° C dans le rapport $\frac{R_{100}}{R_0}$.

A 100° C, cependant, la conductivité thermique de l'air est plus grande qu'à 0° C de 30 %, et celle du pyrex de 13,5 %. Dans le thermomètre S167, 15 % de la chute de température entre le platine et l'extérieur s'effectuent dans le verre du tube de pyrex. La chute correspondante dans le verre du thermomètre R10 est probablement inférieure à 5 % de la chute totale. Bien que le rayonnement du platine soit plus grand à 100° C qu'à 0° C, sa contribution au transfert de chaleur est sans doute inférieure à 1 %. La conduction de chaleur dans le croisillon de mica du thermomètre S167 est probablement insignifiante. Le transfert de chaleur entre le platine et l'extérieur du tube thermométrique a donc lieu principalement par l'air et nous pouvons probablement admettre, avec une erreur inférieure à 1 ou 2 %, la valeur 1,29 pour le rapport des quantités de chaleur perdue à 100° C et à 0° C. Nous pouvons donc prendre

$$\Delta R_{100} = \frac{\Delta R_0 \left(\frac{R_{100}}{R_0} \right)}{1,29}$$

Comme $\frac{R_{100}}{R_0} = 1,392$, nous pouvons écrire avec l'exactitude nécessaire

$$\begin{aligned} \alpha_{\Delta} &= \alpha + \frac{1,392 \Delta R_0 \left(\frac{1}{1,29} - 1 \right)}{100(R_0 + \Delta R_0)} \\ &= \alpha - \frac{0,313 \Delta R_0}{100 R_0} \quad \text{approximativement.} \end{aligned}$$

Avec un courant de 2 mA, on a trouvé pour ΔR_0 les valeurs de 460 $\mu\Omega$ pour R10 et 125 $\mu\Omega$ pour S167. Les valeurs correspondantes de $\alpha - \alpha_{\Delta}$ sont 53.10⁻⁹ et 15.10⁻⁹ respectivement. On comprendra mieux la signification de ces valeurs si l'on considère que 39.10⁻⁹ pour $\alpha - \alpha_{\Delta}$ équivaut à 0,001 degré pour 100 degrés; la valeur de $\alpha - \alpha_{\Delta}$ équivaut donc à environ 0,0014 deg pour R10 et 0,0004 deg pour S167 dans l'intervalle de 100 degrés. Avec un courant de 1 mA, ces valeurs seraient quatre fois plus faibles.

Un étalonnage complet du pont a été fait en mai 1952 avec interpolation des corrections au microhm, le pont étant ajustable

de 10 en 10 $\mu\Omega$. Un étalonnage de contrôle a été fait sur les bobines de 10, 20 et 30 Ω immédiatement après les mesures du 23 août; ce contrôle a été répété le 16 septembre et suivi d'un étalonnage complet les 18 et 24 septembre 1952.

D'après l'étalonnage des thermomètres, on a calculé les valeurs suivantes, en utilisant l'étalonnage du pont du 24 septembre effectué peu après l'achèvement des observations.

Thermomètre R 10.

Date.	α .	$R_{100}(\Omega)$.	$R_0(\Omega)$.
1952 :			
5 août	0,003 923 074	38,024 522	27,310 436
6 »	095	549	415
7 »	068	538	460
14 »	070	619	521
15 »	080	655	520
20 » (au M. I. T.)....	072	—	—
23 »	072	705	572
15 septembre.....	003	803	777
17 »	056	922	759

Thermomètre S 167.

Date.	α .	$R_{100}(\Omega)$.	$R_0(\Omega)$.
1952 :			
5 août	0,003 924 516	35,477 754	25,478 627
7 »	479	820	741
14 »	476	818	746
15 »	510	840	699
20 » (au M. I. T.)....	518	—	—
23 »	468	848	782
15 septembre.....	463	787	747
17 »	475	835	760

Ces résultats sont représentés à la même échelle pour les deux thermomètres aux figures 2 et 3. L'accord entre les déterminations du M. I. T. et celles du N. B. S. donne quelque confiance dans l'exactitude obtenue à chaque laboratoire.

Une conclusion frappante de ces résultats est que les valeurs obtenues pour la résistance du thermomètre R10 ont augmenté

d'environ 0,0035 degré dans les sept semaines qu'ont duré les expériences. L'augmentation correspondante pour le thermomètre S167 est moins frappante. La variation totale n'est que

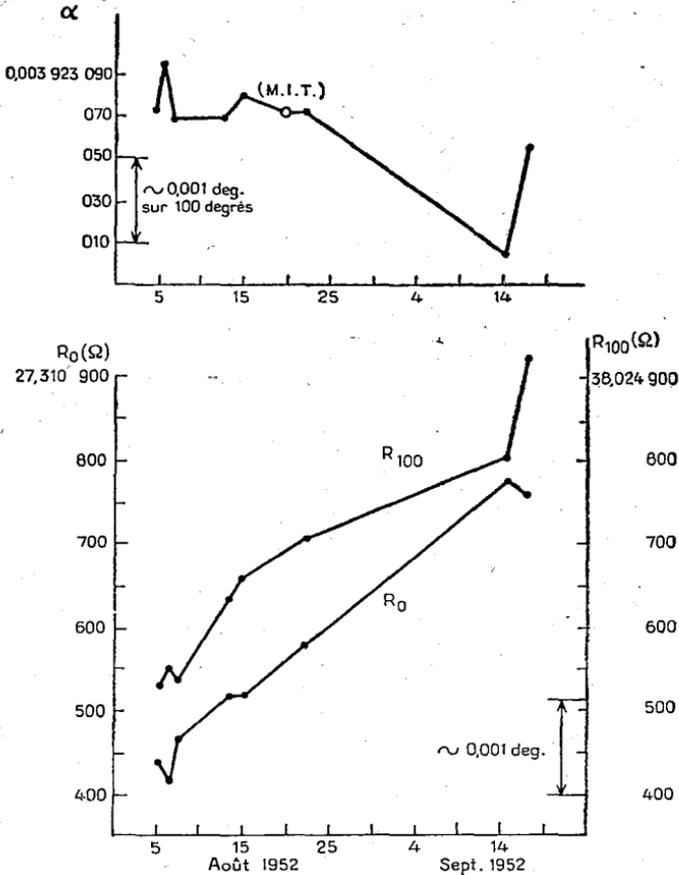


Fig. 2. — Valeurs de α , R_0 et R_{100} à diverses époques pour le thermomètre R10.

de 0,0015 degré et ceci pour les valeurs de R_0 dans les premiers 18 jours.

On pourrait se demander si l'accroissement plus grand des

valeurs de R_0 pour le thermomètre R10 peut s'expliquer par une dérive des résistances du pont. Les résultats concernant les deux thermomètres ont été obtenus dans la même heure avec le même pont. La résistance de R10, cependant, était plus grande que celle de S167 d'environ 7 %, mais il paraît peu probable que la plus grande partie de la dérive se soit produite dans la résistance de

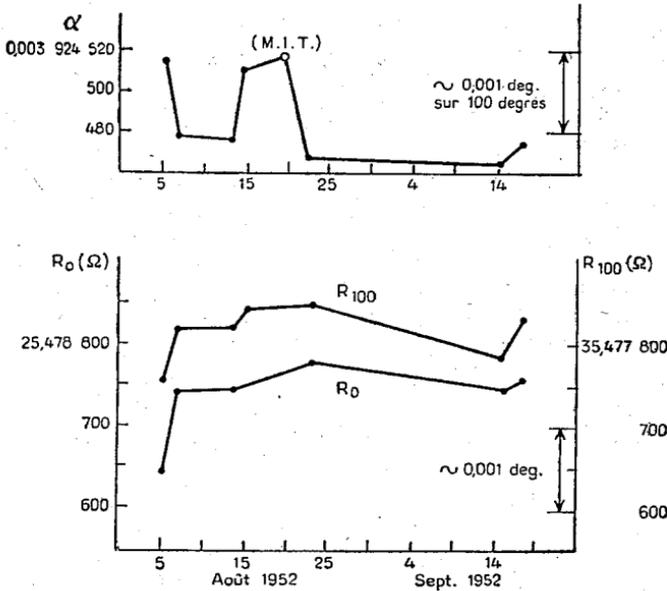


Fig. 3 . — Valeurs de α , R_0 et R_{100} à diverses époques pour le thermomètre S167.

certaines bobines de faible valeur, du pont sans qu'elle ait été décelée au cours des étalonnages fréquents du pont.

Un accroissement de la valeur de R_0 avec le temps a déjà été observé autrefois. Il y a quelques années, les coefficients de quatre thermomètres du N. B. S. en platine de haute pureté ont été étudiés pendant une période d'environ trois ans. Durant cette période, la valeur de R_0 de ces thermomètres a augmenté de quantités qui équivalent à des variations de température comprises entre 0,002 et 0,015 degré. Le coefficient α restait cependant à peu près constant. L'écart type d'une détermination

unique du coefficient α équivalait à environ 0,0003 degré dans l'intervalle fondamental 0-100° C. Étant donné que des tensions et des impuretés produisent les unes et les autres un abaissement du coefficient α , on en a conclu que les propriétés thermométriques du platine n'avaient pas changé. En conséquence, l'accroissement de R_0 avec le temps a été attribué à des changements de dimensions du fil de platine, par exemple une augmentation de la longueur ou une diminution du diamètre, ou les deux.

L'écart maximum des sept déterminations de α du thermomètre S167 équivaut à 0,0014 degré dans l'intervalle fondamental et l'écart type de chaque détermination équivaut à environ 0,0005 degré. Ceci est presque deux fois plus que ce que l'on attendait d'après les résultats cités ci-dessus pour des thermomètres similaires. Cette incertitude plus grande peut être attribuée soit aux thermomètres, soit aux appareils et techniques utilisés lors de l'étalonnage. Le thermomètre S167 était âgé de moins d'un an, mais d'après nos déterminations antérieures de son coefficient α il fut choisi comme le meilleur de ceux du N. B. S. pour participer aux comparaisons internationales.

L'écart maximum des huit mesures de α pour R10, celle du 15 septembre étant mise à part, équivaut à 0,0010 degré dans l'intervalle fondamental; il devient 0,0023 degré si l'on tient compte de cette dernière mesure. Nous avons soigneusement examiné et comparé tous les résultats, principalement ceux du 15 septembre, sans trouver une raison pour rejeter ces derniers. La valeur de la résistance au point de fusion de la glace à cette date, comparée à la marche des résultats antérieurs, était plus élevée, et la résistance au point d'ébullition de l'eau plus basse d'une quantité encore plus grande. L'effet de ces deux écarts est d'abaisser la valeur de α . Le manomètre ayant été démonté et remonté dans les trois semaines qui ont précédé cette détermination, on peut se demander si la valeur plus basse de R_{100} a été une conséquence de ce démontage. Il ne semble pas car le thermomètre S167, plongé dans le même bain au même moment, ne montrait guère d'abaissement de R_{100} . Nous ne trouvons aucune justification pour exclure cette détermination de notre rapport, bien que sa valeur paraisse peu probable.

Dans cet exposé des déterminations de α pour les thermomètres R10 et S167, nous avons essayé de décrire toutes les circonstances que nous pensons utiles pour une appréciation

définitive au B. I. P. M. Si nous avons oublié quelques renseignements, nous nous efforcerons de les fournir lorsqu'ils seront signalés à notre attention.

Lorsque ces thermomètres auront achevé leur premier circuit, il serait intéressant qu'ils en fassent un second pour que leur constance soit déterminée à nouveau.

ANNEXE T 12.

National Physical Laboratory (Grande-Bretagne).

COMPARAISON INTERNATIONALE
DE LA MESURE DE L'INTERVALLE
FONDAMENTAL DE L'ÉCHELLE
DE TEMPÉRATURE AVEC LES THERMOMÈTRES
A RÉSISTANCE DE PLATINE S 167 ET R 13

(Traduction.)

Le thermomètre à résistance de platine S167 a été reçu au National Physical Laboratory en septembre 1952, provenant du National Bureau of Standards, en même temps que le thermomètre R10. Chacun de ces deux thermomètres avait été mesuré au N. B. S. et au Massachusetts Institute of Technology en août 1952. Pendant les dernières de ces mesures, R10 est devenu instable et a continué à l'être après son arrivée au N. P. L. Le thermomètre R10 a, en conséquence, été remplacé au N. P. L. par le thermomètre R13 après que ce dernier eut été soumis pendant plusieurs mois à des observations destinées à s'assurer que sa stabilité était suffisante pour les besoins de l'inter-comparaison.

Une série de mesures a été faite sur les deux thermomètres S167 et R13 pendant dix jours, du 5 au 14 janvier 1953, puis une dernière série d'observations a été effectuée le 3 février 1953. Pour les mesures au point triple de l'eau, on a utilisé des ampoules d'origines américaine et britannique et pour le point d'ébullition deux formes différentes de chaudières,

chacune étant en relation avec une atmosphère artificielle d'air maintenue pendant toute la durée d'une observation à une pression très voisine d'une atmosphère normale.

MESURE DE LA RÉSISTANCE. — Le pont de Smith n° 3 utilisé pour la mesure de la résistance est un pont à sept décades, chaque plot de la dernière correspondant à 0,0001 degré pour un thermomètre dont l'intervalle fondamental est 10 ohms. Les bobines de la première décade sont de 1000 ohms et le rapport du pont est 100:1. L'influence des résistances de contact des balais est réduite dans ce rapport et l'effet de la variation de la résistance de contact des sept balais en série est environ 0,05 de la plus petite subdivision du pont, donc négligeable. Le coefficient de température des bobines est environ $4 \cdot 10^{-6}$ par degré à 27° C. Le pont est maintenu à $27^{\circ} \text{C} \pm 0,02$, aucune correction de température n'est donc généralement nécessaire.

Un amplificateur de galvanomètre est utilisé et donne une sensibilité largement suffisante pour une précision de 0,0001 degré avec un courant thermométrique de 0,5 mA seulement. Pour équilibrer le pont on l'ajuste jusqu'à ce que l'inversion du courant dans le pont ne provoque plus de déviation du galvanomètre, ce qui élimine l'influence des forces thermoélectriques légèrement variables.

Le pont est conçu de telle sorte que les résistances des connexions soient en grande partie éliminées. L'erreur résiduelle due à la différence des résistances de connexion de deux thermomètres à l'étude n'était pas assez petite pour que son effet soit négligeable sur une mesure de résistance. On a donc pris la moyenne de deux lectures avec interversion des quatre connexions. Une analyse des résultats a montré par la suite que l'erreur sur l'intervalle fondamental n'aurait pas dépassé 0,0001 degré si les mesures avec connexion normale avaient seules été effectuées.

LE POINT TRIPLE DE L'EAU. — Trois ampoules à point triple ont été utilisées; deux avaient été préparées par le Chemical Research Laboratory, Teddington, et l'autre par le National Bureau of Standards. Ces préparations étaient conformes aux recommandations de l'Échelle Internationale de Température. Chaque observation était faite dans une ampoule dont le manteau de glace avait été fraîchement préparé. On appliquait une

correction pour tenir compte de la profondeur de la bobine thermométrique au-dessous de la surface de l'eau dans l'ampoule.

MESURE DE LA PRESSION. — On a mesuré la pression au point d'ébullition de l'eau avec un baromètre étalon secondaire du type Kew dont le tube avait un diamètre de 15 mm. Dans ce baromètre, le niveau du ménisque supérieur est observé à l'œil par la méthode qui consiste à amener dans le même plan le sommet du ménisque de mercure et les deux arêtes placées devant et derrière ce ménisque. La hauteur est lue sur une échelle divisée avec une précision de 0,005 millibar. Le ménisque inférieur, très large (environ 15 cm de diamètre), n'est pas observé et l'on suppose qu'il reprend toujours la même position par rapport au ménisque supérieur. Ce baromètre est donc un étalon secondaire que l'on étalonne par comparaison avec le baromètre primaire du laboratoire. Afin de contrôler la fidélité du baromètre, des comparaisons ont été faites avec un second instrument du même type pendant les observations du 5 au 14 janvier. L'étalonnage des deux baromètres est resté concordant à 0,002 millibar pendant cette période. Un étalonnage par rapport au baromètre primaire a été fait immédiatement après les observations du 5 au 14 janvier, et les observations du 3 février ont été faites immédiatement après cet étalonnage.

Pour se mettre à l'abri d'erreurs dues à des variations de la forme du ménisque dans la cuvette inférieure, cette cuvette était agitée violemment avant chaque jour d'observation. La hauteur du ménisque supérieur était mesurée à chaque pointé et l'on appliquait une correction de capillarité. La température de la colonne barométrique était mesurée au moyen de trois couples thermoélectriques cuivre-constantan, à trois soudures, attachés en plusieurs points du tube barométrique. Le baromètre était protégé par un écran d'aluminium à double paroi, dont la partie haute pouvait être écartée pour l'observation du ménisque supérieur. La température de la colonne était généralement uniforme à mieux que 0,04 degré.

LES CHAUDIÈRES A VAPEUR. — On a utilisé deux chaudières cylindriques en cuivre et étamées ensuite. Elles étaient munies à la partie basse d'un tube rentrant contenant la résistance de chauffage électrique en bon contact thermique avec le sommet de ce tube. Ce sommet était juste au-dessous de la surface de

l'eau. Le volume de l'une des chaudières était 2,7 fois celui de l'autre; la hauteur de la plus petite (ST) (*fig. 1*) était 47 cm et

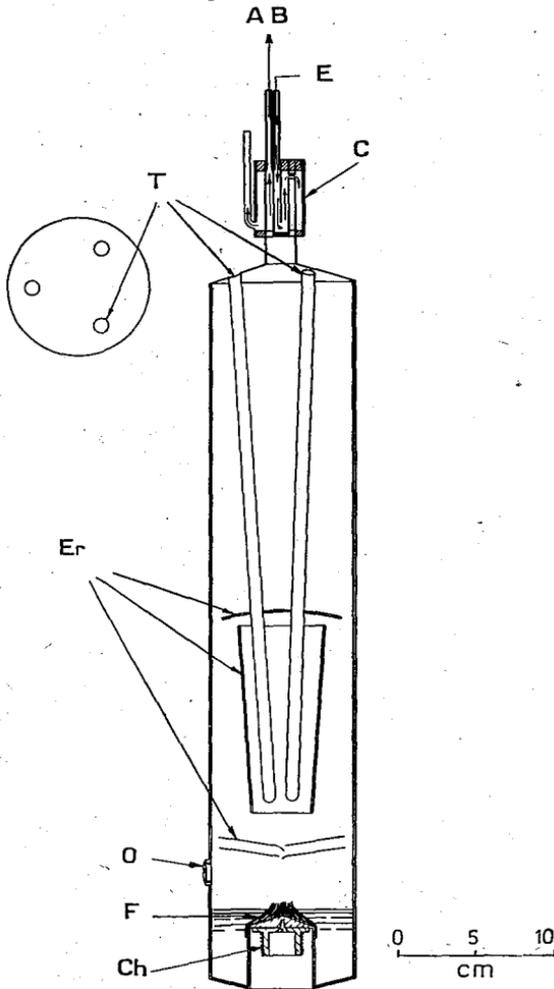


Fig. 1. — Chaudière à vapeur (S. T.).

AB, vers l'atmosphère artificielle et le baromètre; C condensateur; Ch, chauffage; E, eau; Er, écrans contre le rayonnement; F, fils d'argent; O, orifice de remplissage; T, tubes pour thermomètres (3).

son diamètre 9 cm, la hauteur de la plus grande (LT) (*fig. 2*)
était 57 cm et son diamètre 13,5 cm. Dans la paroi supérieure de

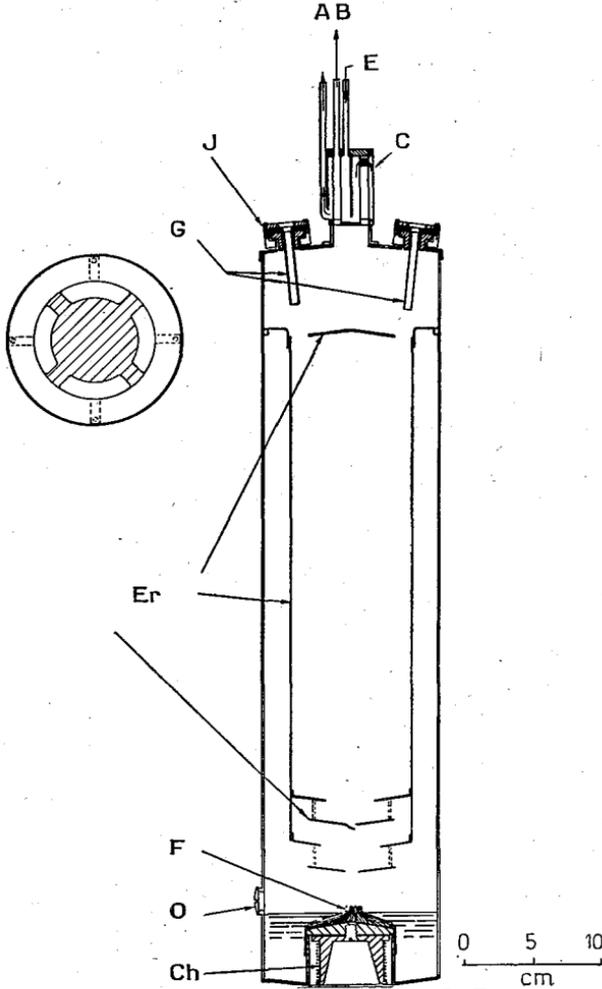


Fig. 2. — Chaudière à vapeur (L. T.).

AB, vers l'atmosphère artificielle et le baromètre; C, condenseur;
Ch, chauffage; E, eau; Er, écrans contre le rayonnement; F, fils
d'argent; G, guides des thermomètres (4); J, joint de caoutchouc;
O, orifice de remplissage.

la petite chaudière étaient scellées trois poches thermométriques en alliage cuivre-nickel (épaisseur des parois 0,15 mm, diamètre 8 mm), tandis que la paroi supérieure de la grande était simplement munie de joints en caoutchouc par lesquels les thermomètres étaient enfoncés directement dans la vapeur. Pour diminuer les pertes dues au rayonnement de la paroi extérieure, la petite chaudière était placée dans un vase de Dewar et la grande était isolée par une couche de laine de verre contenue dans un cylindre d'aluminium concentrique. Dans chacun des appareils les erreurs dues au rayonnement étaient évitées par des écrans intérieurs entourant le thermomètre.

La puissance de chauffage était 170 W pour la petite chaudière et 420 W pour la grande. Elle pouvait être changée dans un large domaine sans que les lectures thermométriques soient affectées. On s'est assuré que la profondeur d'immersion des thermomètres (30 cm environ pour le centre de la bobine thermométrique) était suffisante. Lorsqu'on a remplacé l'eau qui avait été utilisée dans la chaudière pendant au moins 100 heures d'ébullition par de l'eau fraîchement distillée, aucun changement n'a été observé.

MODE OPÉRATOIRE. — Les mesures au point triple étaient faites chaque jour. Les thermomètres étaient ensuite placés ensemble dans l'une des chaudières que l'on maintenait à l'ébullition pendant toute la série des mesures. La chaudière était en relation avec un réservoir de 90 litres par un tube de 3 mm de diamètre, dont une partie horizontale était refroidie à la glace carbonique afin d'éviter que l'humidité n'atteigne le baromètre. Le baromètre était mis en relation avec le réservoir et l'on ajustait la pression très près d'une atmosphère normale. Un observateur maintenait la pression aussi constante que possible, à environ 0,004 millibar (ce qui équivaut à 0,0001 degré), tandis qu'un second observateur lisait le pont, pendant quatre observations. Les connexions du thermomètre étaient alors inversées et l'on faisait quatre nouvelles lectures. La température du baromètre était prise au début et à la fin de chaque série de lectures. On recommençait le tout après permutation des observateurs.

RÉSULTATS. — Les résultats des mesures sont exposés dans le tableau suivant qui donne le coefficient de température α de la résistance des thermomètres pour l'intervalle de tempé-

Valeurs de R₀ et α.

Date.	R ₀ (Ω).	Chaudière LT.		Chaudière ST.	
		Observateur		Observateur	
		NPR α. 10 ³	CRB α. 10 ³	NPR α. 10 ³	CRB α. 10 ³
<i>Thermomètre S 167.</i>					
5/1/53...	-	3,924 508	-	3,924 491	-
6/1/53...	25,479 049	-	3,924 534	-	3,924 519
7/1/53...	25,479 051	3,924 506	-	3,924 495	-
8/1/53...	25,479 044	-	3,924 541	-	3,924 519
9/1/53...	25,479 068	3,924 523	-	3,924 489	-
12/1/53...	25,479 073	-	3,924 554	-	3,924 513
13/1/53...	25,479 043	3,924 514	-	3,924 490	-
14/1/53...	25,479 064	-	3,924 530	-	3,924 509
3/2/53...	25,479 067	3,924 535	3,924 529	3,924 493	3,924 482
		3,924 517	3,924 538	3,924 492	3,924 508
Moyennes.....		3,924 528		3,924 500	
		3,924 514			
<i>Thermomètre R 13.</i>					
5/1/53...	28,638 634	3,924 942	-	3,924 942	-
6/1/53...	28,638 622	-	3,924 940	-	3,924 951
7/1/53 ..	28,638 634	3,924 937	-	3,924 939	-
8/1/53...	28,638 644	-	3,924 957	-	3,924 951
9/1/53...	28,638 651	3,924 953	-	3,924 925	-
12/1/53...	28,638 662	-	3,924 975	-	3,924 939
13/1/53... {	28,638 629	3,924 944	-	3,924 926	-
	28,638 625				
14/1/53...	28,638 642	-	3,924 941	-	3,924 934
3/2/53...	28,638 662	3,924 949	3,924 961	3,924 909	3,924 925
		3,924 945	3,924 955	3,924 928	3,924 940
Moyennes.....		3,924 950		3,924 934	
		3,924 942			

rature $0-100^{\circ}\text{C}$ ($\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 R_0}$). Les résultats sont donnés séparément pour chaque chaudière et pour l'observateur chargé du réglage du baromètre. La valeur de α étant environ $3,92 \cdot 10^{-3}$, une différence de $0,0001$ degré dans l'intervalle fondamental équivaut à une différence de $3,92 \cdot 10^{-9}$ sur α .

Il existe une différence systématique selon l'opérateur chargé des lectures barométriques, celles de l'observateur CRB conduisant à une valeur moyenne de α plus élevée d'une quantité équivalente à $0,00036$ degré. Il existe également une différence entre les résultats obtenus avec les deux chaudières, la plus grande (LT), dans laquelle les thermomètres sont en contact direct avec la vapeur, donnant des valeurs plus élevées d'une quantité équivalente à $0,0004$ degré d'après le thermomètre R13 et à $0,0007$ degré d'après S167. Ceci pourrait faire soupçonner une perte de chaleur vers le haut dans les poches thermométriques de la petite chaudière, mais aucun gradient de température n'a pu être décelé sur une distance de plusieurs centimètres, autre que celui qui s'explique par la variation de la hauteur de l'ampoule thermométrique par rapport au baromètre. Pendant l'immersion en contact direct avec la vapeur, on a observé des oscillations dans les indications des thermomètres, en particulier avec S167 dont le retard thermique était très petit. Ceci est dû probablement à des impulsions de pression provoquées par l'ébullition, dont l'effet était masqué dans la petite chaudière par l'inertie thermique des poches thermométriques. Ces oscillations équivalaient à environ $0,0002$ à $0,0003$ degré.

ANNEXE T 13.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Allemagne).

COMPARAISON INTERNATIONALE
DES
THERMOMÈTRES A RÉSISTANCE DE PLATINE
R 13 ET S 167

Ci-après sont indiqués les résultats (valeurs moyennes) des mesures effectuées en octobre 1953 sur les deux thermomètres à résistance de platine R13 et S167.

	R_0 (Ohm abs.).	R_{100} (Ohm abs.).	$\alpha \cdot 10^3$.
R 13.....	28,638 71	39,879 21	3,924 93
S 167.....	25,479 11	35,478 50	3,924 54

Les valeurs des résistances sont extrapolées pour un courant de mesure nul. R_0 a été obtenue par des mesures au point triple de l'eau.

ANNEXE T 14.

Kamerlingh Onnes Laboratorium (Pays-Bas).

RÉSULTATS DES MESURES EFFECTUÉES
 SUR LES THERMOMÈTRES
 A RÉSISTANCE DE PLATINE R 13 ET S 167

(Lettre du Docteur H. Van DIJK
 à M. le Directeur du Bureau International des Poids et Mesures,
 16 mars 1954.)

Nous avons reçu ces thermomètres de la P. T. B. et les Docteurs J. A. Hall et C. R. Barber les ont remportés au N. P. L. le 5 février 1954.

N°	R_0 (Ω absolu).	R_{100} (Ω absolu).	$\frac{R_{100}}{R_0}$.
R 13	28,638 9 ₅	39,879 2 ₄	1,392 48 ₃ \pm 0,000 005
S 167 . . .	25,479 1 ₂	35,478 5 ₃	1,392 45 ₅ \pm 0,000 005

Les résultats de R_0 représentent la moyenne des résultats obtenus au point de fusion de la glace et des résultats déduits des mesures au point triple, en supposant que la température de celui-ci est 0,0100° C.

Les résistances mesurées ont été comparées à une résistance de 10 Ω , elle-même comparée avec une résistance de 10 Ω du N. P. L. connue en ohms absolus. Les valeurs de R_0 et R_{100} se rapportent aux mesures avec un courant de 1 mA (1).

(1) Pour un courant de mesure nul, les valeurs extrapolées de R_0 sont les suivantes (cf. p. T 24) :

R 13 : 28,638 75 Ω abs.
 S 167 : 25,479 07 Ω abs.

ANNEXE T 15.

National Physical Laboratory (Grande-Bretagne).

COMPARAISON INTERNATIONALE
DE LA MESURE DE L'INTERVALLE
FONDAMENTAL DE L'ÉCHELLE
DE TEMPÉRATURE AVEC LES THERMOMÈTRES
A RÉSISTANCE DE PLATINE S 167, R 13 ET 109

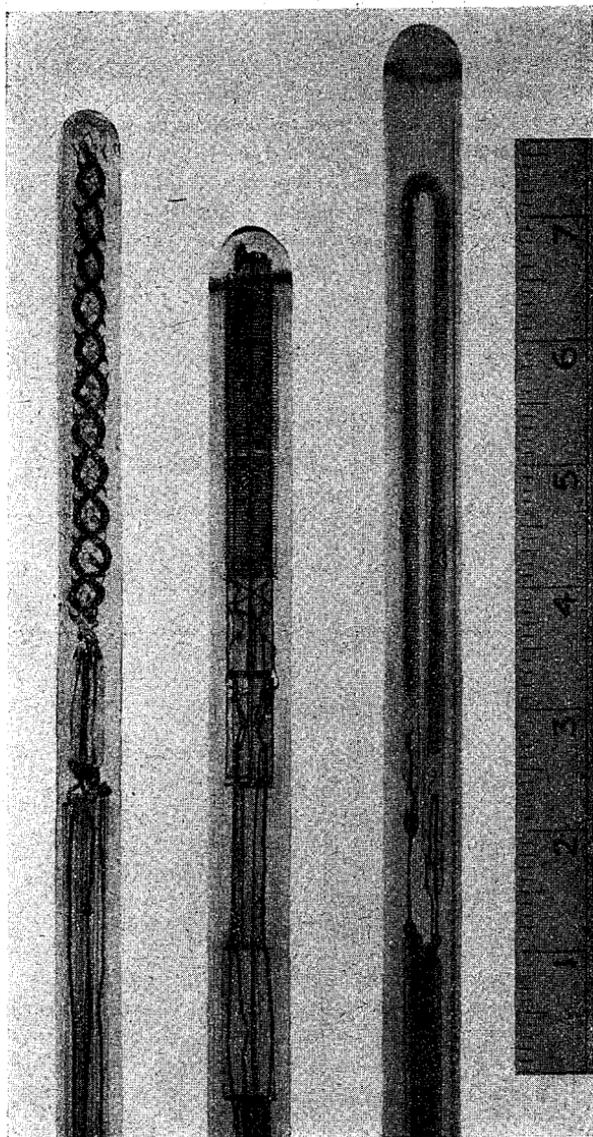
(Traduction.)

Les thermomètres à résistance de platine S167 et R13 ont été étudiés précédemment au National Physical Laboratory en janvier 1953 et les résultats de ces mesures ont déjà été communiqués ⁽¹⁾. Depuis, ces thermomètres ont été étalonnés à la Physikalisch-Technische Bundesanstalt et à l'Université de Leiden. Ils ont été retournés au N. P. L. le 6 février 1954.

Le thermomètre à résistance de platine n° 109 a été envoyé au N. P. L. par l'Institut de Métrologie de l'U. R. S. S. à la fin du mois de février 1954, pour être inclus dans l'intercomparaison.

Des mesures ont été faites sur les trois thermomètres pendant la période du 4 au 10 mars 1954. A cette occasion, le point d'ébullition de l'eau a été réalisé, contrairement aux mesures précédentes, en n'utilisant qu'une seule chaudière (L. T.) et avec un observateur seulement (C. R. B.).

⁽¹⁾ Cf. Annexe T 12, p. T 106.



109

S 167

R 13

Pour le reste, l'appareillage et la procédure utilisés sont ceux décrits dans le premier Rapport (1). Le pont de Smith et le baromètre type Kew ont été réétalonnés à l'époque des mesures. L'étalonnage du pont a montré une augmentation de 5 millièmes en valeur relative depuis les mesures de janvier 1953 et le baromètre a montré une variation de + 0,016 millibar.

Les résultats des mesures sont indiqués dans le tableau I. A titre de comparaison, on a également donné les valeurs moyennes obtenues en janvier 1953 par le même observateur avec la même chaudière. On observe une augmentation de la valeur de R_0 pour les deux thermomètres S167 et R13, augmentation de 0,000 13 Ω (0,001 3 deg) pour S167 et de 0,000 21 Ω (0,001 9 deg) pour R13. Les deux thermomètres montrent une diminu-

TABLEAU I.

° Valeurs de R_0 , R_{100} , ($R_{100} - R_0$) et α pour un courant de mesure nul.

Date.	R_0 (Ω)	R_{100} (Ω)	Intervalle fondamental (Ω)	$\alpha \cdot 10^6$	
<i>Thermomètre S167.</i>					
4/3/54.....	25,479 184	35,478 503	9,999 319	3,924 505	
5/3/54.....	25,479 175	35,478 413	9,999 238	3,924 475	
8/3/54.....	25,479 186	35,478 448	9,999 264	3,924 483	
9/3/54.....	25,479 191	35,478 458	9,999 267	3,924 484	
	25,479 197	35,478 446	9,999 249	3,924 476	
10/3/54.....	25,479 190	35,478 461	9,999 271	3,924 485	
	25,479 191	35,478 456	9,999 265	3,924 483	
	25,479 188	35,478 455	9,999 268	3,924 485	Moyennes
	0,000 006	0,000 025	0,000 024	0,000 009	Écart types
29/4/54.....	25,479 190				
Janv. 1953...	25,479 057	35,478 410	9,999 353	3,924 538	
	+0,000 131	+0,000 045	-0,000 085	-0,000 053	Mars 1954-Janv. 1953

TABLEAU I (suite).

Date.	R ₀ (Ω).	R ₁₀₀ (Ω).	Intervalle fondamental (Ω).	z. 10 ³ .	
<i>Thermomètre R 13.</i>					
4/3/54.....	28,638 841	39,879 365	11,240 524	3,924 923	
5/3/54.....	28,638 843	39,879 412	11,240 469	3,924 903	
8/3/54.....	28,638 841	39,879 366	11,240 525	3,924 923	
9/3/54.....	28,638 852	39,879 332	11,240 470	3,924 902	
	28,638 858	39,879 339	11,240 483	3,924 906	
10/3/54.....	28,638 857	39,879 362	11,240 505	3,924 914	
	28,638 862	39,879 322	11,240 460	3,924 898	
	28,638 851	39,879 357	11,240 491	3,924 910	Moyennes
	0,000 008	0,000 028	0,000 025	0,000 009	Écarts types
29/4/54.....	28,638 873				
Janv. 1953...	28,638 642	39,879 180	11,240 538	3,924 955	
	+0,000 209	+0,000 177	-0,000 047	-0,000 045	Mars 1954-Janv. 1953
<i>Thermomètre 109.</i>					
4/3/54.....	10,156 177	14,141 819	3,985 642	3,924 353	
5/3/54.....	10,156 186	14,141 809	3,985 623	3,924 330	
8/3/54.....	10,156 189	14,141 827	3,985 638	3,924 344	
9/3/54.....	10,156 197	14,141 857	3,985 660	3,924 363	
	10,156 202	14,141 829	3,985 627	3,924 328	
10/3/54.....	10,156 189	14,141 827	3,985 638	3,924 344	
	10,156 197	14,141 827	3,985 630	3,924 329	
	10,156 191	14,141 828	3,985 637	3,924 342	Moyennes
	0,000 008	0,000 014	0,000 011	0,000 012	Écarts types
29/4/54.....	10,156 209				

tion correspondante pour la valeur de α , diminution de $5,3 \cdot 10^{-8}$ (0,0014 deg) pour S167 et de $4,5 \cdot 10^{-8}$ (0,0011 deg) pour R13.

Ces changements sont résumés dans le tableau II. Comme ils ont le même sens, et à peu près la même grandeur, il est nécessaire de s'assurer qu'ils ne sont pas causés par des différences dans la détermination des valeurs. Heureusement, un autre thermomètre, R12, a été mesuré en même temps que les thermomètres en cause et a donné une valeur constante de R_0 entre janvier 1953 et mars 1954. Son coefficient α ayant été également trouvé constant, on en conclut que les différences observées

TABLEAU II.

Variation des thermomètres S167, R13 et R12, entre janvier 1953 et mars 1954. (en millionnièmes).

Thermomètre.	R_0 .	R_{100} .	$R_{100}-R_0$.	α .
S167.....	+5,1	+1,3	-8,5	-13,5
R13.....	+7,3	+4,4	-4,2	-11,5
R12.....	+1	+0,5	-1	-2

Description des thermomètres nos 409, S167 et R13.

	409.	S167.	R13.
Nature de la gaine.....	Silice	Verre	Verre
Longueur » (mm)...	467	460	403
Diamètre » (mm)...	6	7	7
Longueur du bulbe (mm)...	41	25	50
Nature et diamètre des conducteurs (mm).....	Platine; 0,3	Or; 0,2	Or; 0,5
Valeur de $R_0(\Omega)$	10,16	25,48	28,64
» α	0,003 924 3	0,003 924 5	0,003 925 0
Gaz de remplissage.....	?	?	Air (p 30 cm Hg à t ambiante)
Effet de chauffage d'un courant de mesure de 1 mA quand le thermomètre est immergé dans une cellule à point triple de l'eau.	0,000 038 Ω (0,001 0 deg)	0,000 048 Ω (0,000 5 deg)	0,000 220 Ω (0,002 0 deg)

pour S 167 et R 13 sont dues à des changements dans les thermomètres eux-mêmes. Les différences effectivement trouvées pour R 12 sont incluses dans le tableau II.

On a obtenu une confirmation supplémentaire de cette conclusion en considérant la mesure des résistances. L'étalonnage du pont de Smith est basé sur une bobine étalon de 10 ohms n° L 649. Au moment des étalonnages du pont sur lesquels les résultats de janvier 1953 et mars 1954 sont basés, les valeurs de L 649, déterminées par la Division d'Électricité du Laboratoire, étaient $10,005\ 15\ \Omega$ et $10,005\ 16\ \Omega$; la différence entre ces deux valeurs est sans importance. Les variations de 5 et $7 \cdot 10^{-6}$ de la valeur de R_0 , pour les deux thermomètres, apparaissent bien ainsi dépasser les différences possibles dans les étalonnages du pont.

En ce qui concerne la stabilité meilleure de R 12 par rapport à R 13, thermomètre de construction semblable, une explication possible est que R 13 a été porté, pendant l'année, un plus grand nombre de fois à 100°C que R 12. Celui-ci n'a été en fait utilisé que comme référence de l'intervalle fondamental et n'a été porté à 100°C que huit fois; le reste du temps il était maintenu à la température ambiante.

(5 mai 1954.)

ANNEXE T 16.

Institut de Métrologie du nom de D. I. Mendéléév (U. R. S. S.).

LES MÉTHODES DE RÉALISATION DE L'ÉCHELLE INTERNATIONALE DE TEMPÉRATURE DANS L'INTERVALLE DE 400° A 1063° C.

(Traduction remise.)

Les recherches de l'Institut Scientifique de Métrologie de l'U. R. S. S. sur la réalisation de l'Échelle Internationale de Température dans les domaines compris entre 0 et 630° C et entre 630 et 1063° C démontrent qu'il serait nécessaire de réviser les procédés recommandés par le Règlement de 1948. En laissant de côté l'intervalle de 0 à 400° C qui est réalisé d'une manière satisfaisante à l'aide du thermomètre à résistance de platine, nous nous sommes occupés spécialement de l'intervalle de 400 à 1063° C où sont employés ce thermomètre et le thermocouple étalon. Les procédés actuels pour la réalisation de l'Échelle Internationale dans l'intervalle de 400 à 1063° C conduisent à une répartition non uniforme des erreurs de réalisation entre les points repères de l'Échelle (t_S , t_{Si} , t_{Ag} , t_{Au}). En outre, la marche de ces erreurs présente une discontinuité au point de solidification de l'antimoine, c'est-à-dire en passant du domaine réalisé à l'aide du thermomètre étalon à résistance au domaine réalisé à l'aide du thermocouple étalon.

Cette conclusion est confirmée par les considérations suivantes.

I. — LA RÉPARTITION DES ERREURS DE RÉALISATION
DE L'ÉCHELLE INTERNATIONALE 1948 ENTRE LES POINTS FIXES.

1. La détermination des constantes a , b , c de la formule d'interpolation

$$(1) \quad e_t = a + bt + ct^2$$

établie par le Règlement de 1948 pour l'intervalle de 630 à 1063° C dans lequel on utilise le thermocouple étalon platine-platine rhodié à 10 %, s'effectue d'après le système d'équations

$$(2) \quad \begin{cases} e_1 = a + bt_1 + ct_1^2, \\ e_2 = a + bt_2 + ct_2^2, \\ e_3 = a + bt_3 + ct_3^2, \end{cases}$$

où e_1 , e_2 , e_3 désignent les forces électromotrices du thermocouple aux points fixes t_1 , t_2 , t_3 .

En substituant dans l'équation (1) les expressions de a , b , c tirées du système (2) nous aurons

$$(3) \quad e_t = e_1 \varphi_1(t) + e_2 \varphi_2(t) + e_3 \varphi_3(t),$$

dans laquelle

$$(4) \quad \begin{cases} \varphi_1(t) = \frac{(t-t_2)(t-t_3)}{(t_1-t_2)(t_1-t_3)}, \\ \varphi_2(t) = \frac{(t-t_3)(t-t_1)}{(t_2-t_3)(t_2-t_1)}, \\ \varphi_3(t) = \frac{(t-t_1)(t-t_2)}{(t_3-t_1)(t_3-t_2)}. \end{cases}$$

Les fonctions φ_1 , φ_2 , φ_3 sont liées par l'égalité

$$(5) \quad \varphi_1(t) + \varphi_2(t) + \varphi_3(t) = 1.$$

On peut démontrer que si l'on désigne par Δe_1 , Δe_2 et Δe_3 les erreurs de graduation du thermocouple en question aux températures t_1 , t_2 et t_3 , l'erreur de graduation Δe_t du thermocouple à une certaine température t , déterminée par l'effet simultané des trois erreurs Δe_1 , Δe_2 et Δe_3 , est donnée par la formule

$$(6) \quad \Delta e_t = \varphi_1(t) \Delta e_1 + \varphi_2(t) \Delta e_2 + \varphi_3(t) \Delta e_3.$$

Les fonctions $\varphi_1(t)$, $\varphi_2(t)$ et $\varphi_3(t)$ peuvent être appelées « fonctions d'influence », car elles expriment l'influence séparée

de chacune des erreurs Δe_1 , Δe_2 et Δe_3 sur la valeur de l'erreur totale Δe_t .

La figure 1 représente les graphiques des fonctions $\varphi_1(t)$, $\varphi_2(t)$ et $\varphi_3(t)$ tracés d'après les résultats du calcul en posant dans les formules (4) $t_1 = 630,5$, $t_2 = 960,8$ et $t_3 = 1063^\circ \text{C}$. On voit

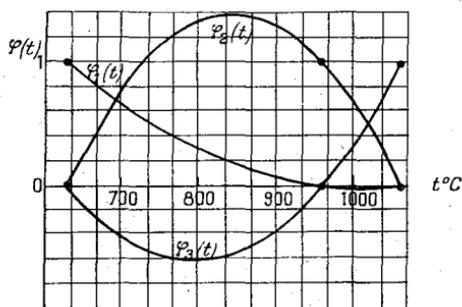


Fig. 1.

sur la figure 1 que la fonction $\varphi_2(t)$, qui caractérise l'influence de l'erreur de graduation du thermocouple au point de solidification de l'argent, a son maximum au voisinage de 850°C ; et que ce maximum atteint 1,38. Autrement dit, une erreur de gra-

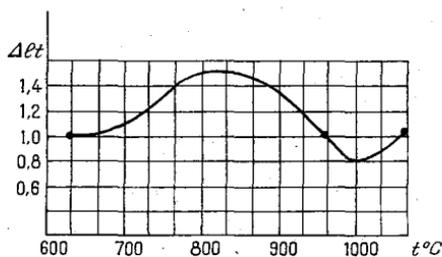


Fig. 2.

duction Δe_2 du thermocouple au point de solidification de l'argent conduit dans la région de 850°C à une erreur de réalisation de l'Échelle, qui atteint 1,38 Δe_2 .

En supposant que les erreurs de graduation aient un caractère accidentel et que Δe_1 , Δe_2 et Δe_3 soient les erreurs moyennes

quadratiques de mesure des forces électromotrices e_1, e_2 et e_3 , et en adoptant ensuite $\Delta e_1 = \Delta e_2 = \Delta e_3 = \Delta e$, on peut calculer l'erreur quadratique totale Δe_t par la formule

$$(7) \quad \Delta e_t = \Delta e \sqrt{[\varphi_1(t)]^2 + [\varphi_2(t)]^2 + [\varphi_3(t)]^2}.$$

Les résultats de ces calculs sont donnés sur la figure 2 sous la forme d'une courbe en supposant Δe égal à 1.

Une répartition si peu uniforme des erreurs est conditionnée exclusivement par la proximité des points fixes $t_2 = 960,8$ et $t_3 = 1063^\circ \text{C}$.

2. Conformément au procédé actuellement adopté, la mesure

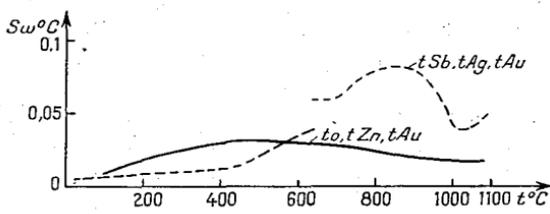


Fig 3.

de la température de solidification de l'échantillon d'antimoine employé se fait à l'aide d'un thermomètre étalon à résistance, gradué à $t_1 = 0$, $t_2 = 100$ et $t_3 = 444,6^\circ \text{C}$. En raisonnant comme précédemment, on peut démontrer que si l'on admet que l'erreur de graduation du thermomètre étalon à ces températures est égale à $\Delta R_1 = \Delta R_2 = \Delta R_3 = 1$, l'erreur totale de graduation du thermomètre étalon à résistance au point de solidification de l'antimoine atteint la valeur 5,4. Il faut noter qu'une analyse plus détaillée, tenant compte de l'inégalité des valeurs des erreurs $\Delta R_1, \Delta R_2$ et ΔR_3 trouvées expérimentalement, ne change pas essentiellement la situation, car la plus grande d'entre elles (ΔR_3) détermine l'erreur prépondérante de mesure de la température de solidification de l'antimoine.

Ainsi, le caractère spécifique de la répartition des erreurs du thermomètre étalon dans la région extrapolée ($444,6$ à $630,5^\circ \text{C}$) conduit à une forte erreur de la mesure de la température de solidification de l'antimoine, qui devient encore plus grande par suite d'une erreur universelle complémentaire inévitablement liée au mode opératoire employé ici même.

Cette dernière circonstance est la cause de la discontinuité de la courbe des erreurs de réalisation de l'Échelle, comme on le voit sur la figure 3.

3. L'emploi du thermocouple platine-platine rhodié comme instrument étalon contraint à avoir recours à toute une série de précautions (isolation soignée du thermocouple contre l'action des gaz corrosifs, exclusion des tensions mécaniques dans les fils du thermocouple, etc.). En négligeant ces précautions on produit une hétérogénéité des fils du thermocouple, ce qui entraîne un changement rapide de sa graduation.

II. — MÉTHODE NOUVELLE DE RÉALISATION DE L'ÉCHELLE INTERNATIONALE DANS L'INTERVALLE DE 400 A 1063° C A L'AIDE DES THERMOMÈTRES A RÉSTANCE DE PLATINE.

Les considérations précédentes nous ont conduits à entreprendre des études spéciales ayant pour but de rechercher un procédé plus sûr pour la réalisation de l'Échelle Internationale de Température de 400 jusqu'à 1063° C. La solution que nous avons trouvée est basée sur l'emploi de thermomètres à résistance d'une construction spéciale.

1. *Description et étude des thermomètres à résistance.* — Sur la figure 4 est représenté l'élément sensible d'un thermomètre à résistance dont la construction s'est montrée la plus rationnelle pour le but proposé.

Autour d'une tige cylindrique en porcelaine, ayant une longueur de 40 mm et un diamètre de 3 à 4 mm, est enroulée une hélice bifilaire en fil de platine ayant un diamètre de 0,5 mm. Les bouts de cette tige sont terminés par des traverses en forme de croix. Sur la traverse inférieure est attachée la partie inférieure du bobinage en platine. Les extrémités supérieures du bobinage sont soudées aux extrémités des fils conducteurs menant à la source de courant et au potentiomètre. Ces fils passent par des orifices pratiqués dans la plaque en porcelaine adjacente à la traverse supérieure. Ainsi le bobinage de platine est fixé en trois points sur la carcasse en porcelaine, ce qui permet de réduire au minimum les tensions mécaniques qui apparaissent dans le fil à la suite des changements de température. L'emploi d'un gros fil de

platine pour la fabrication de l'élément sensible est dicté par le souci de diminuer l'influence de l'évaporation du platine aux températures élevées sur la stabilité de la résistance du thermomètre.

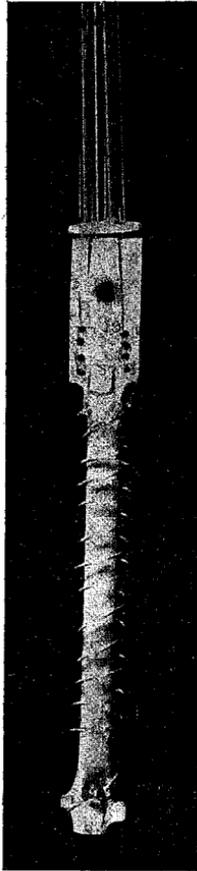


Fig. 4.

L'élément sensible fabriqué de cette manière est introduit dans un tube de protection en quartz ayant un diamètre intérieur de près de 8 mm et une épaisseur de parois de près de 1 mm.

On a utilisé pour cette étude cinq thermomètres à résistance semblables, dont les résistances à 0° C étaient de 0,11 à 0,17 Ω.

Le platine employé pour la fabrication de ces thermomètres était de pureté différente, caractérisée par la valeur du rapport $\frac{R_{100}}{R_0}$ indiquée dans le tableau suivant :

N ^{os} des thermomètres.	$\frac{R_{100}}{R_0}$.
6.....	1,391 8
7.....	1,388 4
8.....	1,391 0
9.....	1,390 2
11.....	1,392 5

Après un recuit préalable, on a étudié la stabilité des thermomètres. L'invariabilité de R_0 et $\frac{R_{100}}{R_0}$ fut étudiée avant et après l'échauffement des thermomètres pendant 4 heures à une température voisine de 1 200° C.

Les variations de ces grandeurs sont données dans le tableau I.

TABLEAU I.

N ^{os} des thermomètres...	6.	7.	8.	9.	11.
$\frac{\Delta R_0}{R_0}$	0	$-1,5 \cdot 10^{-5}$	0	$+1,5 \cdot 10^{-5}$	$+1 \cdot 10^{-5}$
$\Delta\left(\frac{R_{100}}{R_0}\right)$...	0	$-1,10^{-5}$	$+1,10^{-5}$	$-2 \cdot 10^{-5}$	0

On voit que les variations de R_0 et de $\frac{R_{100}}{R_0}$ se trouvent dans les limites de la précision de lecture ($\pm 2 \cdot 10^{-5}$) des instruments de mesure employés et l'on n'arrive pas à constater une influence régulière et perceptible de la chauffe de longue durée des thermomètres, jusqu'à 1 200° C, sur leurs caractéristiques.

Cette conclusion s'est trouvée complètement justifiée pendant les expériences ultérieures. Les cinq thermomètres ont été minutieusement étalonnés aux températures de fusion de la glace, d'ébullition de l'eau, de solidification du cadmium, du zinc, de l'antimoine, de l'alliage eutectique Ag-Cu, de l'argent et de l'or. Les températures de solidification du cadmium, du zinc et de

l'antimoine, mesurées à l'aide de deux thermomètres à résistance étalons ordinaires de 10Ω , furent respectivement égales à $320,90 \pm 0,02^\circ \text{C}$, $419,59 \pm 0,03^\circ \text{C}$ et $630,51 \pm 0,05^\circ \text{C}$. L'alliage eutectique Ag-Cu, employé pour la graduation des thermomètres à résistance, contenait 28,5 % de cuivre fin et 71,5 % d'argent fin.

Dans le tableau II sont données les valeurs du rapport $\frac{R_t}{R_0}$ obtenues à la suite de cet étalonnage, ainsi que le nombre n des mesures des résistances des thermomètres qui ont servi à déterminer les résistances R_t . Dans le même tableau sont indiquées les erreurs δ exprimées en millièmes de degré, et obtenues à partir de la dispersion des mesures en tenant compte des valeurs $\frac{dR_t}{dt}$ de chaque thermomètre.

Il faut mentionner que les thermomètres possédant le plus grand coefficient thermique de résistance, ont une meilleure reproductibilité de la graduation que les thermomètres à coefficient plus petit.

2. *Choix de la formule d'interpolation.* — Afin de choisir la formule d'interpolation la plus rationnelle on a étudié une formule quadratique et une formule cubique. Il fut établi que la formule cubique ne présente aucun avantage sérieux par rapport à la formule quadratique et son emploi fut reconnu inutile.

L'application de la formule quadratique (1), dans laquelle e_t est remplacée par R , fut étudiée pour quelques combinaisons des points fixes servant à déterminer les coefficients a , b , c .

L'analyse théorique de la formule (6) a montré que la distribution la plus uniforme des erreurs de graduation entre les points fixes a lieu dans le cas où les températures des trois points fixes utilisés sont liées par la relation

$$(8) \quad t_2 = \frac{t_1 + t_3}{2}.$$

En conséquence, on doit renoncer immédiatement aux études des systèmes tels que $[t_0 - t_{100} - t_{\text{Au}}]$, $[t_{\text{Cd}} - t_{\text{Zn}} - t_{\text{Au}}]$ et autres analogues, dont le point fixe moyen est situé trop près d'un point extrême.

Quoique le système $[t_0 - t_{\text{Zn}} - t_{\text{Au}}]$ ne satisfasse qu'approximativement à la condition (8), par suite de la petitesse des erreurs de graduation des thermomètres à la température de fusion de la

TABLEAU II.

Nos des thermomètres.	t_0 .			t_{100} .			t_{Cd} .			t_{Zn} .		
	$\frac{R_t}{R_0}$.	$\delta.10^3$.	$n.$ (deg. C).	$\frac{R_t}{R_0}$.	$\delta.10^3$.	$n.$ (deg. C).	$\frac{R_t}{R_0}$.	$\delta.10^3$.	$n.$ (deg. C).	$\frac{R_t}{R_0}$.	$\delta.10^3$.	$n.$ (deg. C).
6.....	1	84	4	1,391 81	48	4	2,215 47	26	4	2,565 10	63	4
7.....	1	50	9	1,388 62	54	9	2,205 78	52	4	2,552 63	62	9
8.....	1	71	9	1,391 01	35	9	2,213 43	19	9	2,562 08	42	13
9.....	1	55	13	1,390 33	34	13	2,210 49	26	9	2,558 08	30	13
11.....	1	77	4	1,392 46	70	9	2,217 79	59	9	2,567 74	63	9
Nos des thermomètres.	t_{Sb} .			t_{Ag-Cu} .			t_{Ag} .			t_{Au} .		
	$\frac{R_t}{R_0}$.	$\delta.10^3$.	$n.$ (deg. C).	$\frac{R_t}{R_0}$.	$\delta.10^3$.	$n.$ (deg. C).	$\frac{R_t}{R_0}$.	$\delta.10^3$.	$n.$ (deg. C).	$\frac{R_t}{R_0}$.	$\delta.10^3$.	$n.$ (deg. C).
6.....	3,273 17	65	9	3,740 47	58	13	4,277 53	94	13	4,561 53	36	9
7.....	3,254 90	55	13	3,717 79	46	18	4,249 54	42	27	4,531 14	35	31
8.....	3,268 96	63	13	3,735 38	26	18	4,271 13	40	18	4,554 93	31	13
9.....	3,262 78	30	27	3,727 42	38	27	4,261 53	49	22	4,544 34	44	31
11.....	3,277 09	52	18	3,744 95	43	13	4,282 34	58	18	4,567 04	48	13

glace, son étude détaillée a toutefois montré qu'il conduisait à une répartition suffisamment uniforme des erreurs entre les points fixes, ainsi que le montre la figure 3. La valeur de la température de solidification du zinc — deuxième point fixe — est déterminée à l'aide du thermomètre à résistance étalon ordinaire (10Ω) avec plus d'exactitude que la température de solidification de l'antimoine.

En s'appuyant sur ces résultats, il paraît utile d'employer pour la réalisation de l'Échelle Internationale de Température jusqu'à 1063°C une formule d'interpolation quadratique en utilisant les points fixes t_0 , t_{Zn} et t_{Au} .

Cependant, il est désirable de limiter l'emploi de ces thermomètres à faible résistance ohmique au domaine des températures entre 400 et 1063°C . Quant à la reproduction de l'Échelle dans le domaine inférieur à 400°C , il est rationnel d'utiliser, comme avant, des thermomètres à résistance ohmique élevée et une formule d'interpolation quadratique basée sur les anciens points fixes t_0 , t_{100} , $t_{144,6}$.

3. Concordance avec l'Échelle Internationale de Température 1948. — Pour contrôler jusqu'à quel point l'échelle réalisée par le procédé décrit s'accorde avec l'Échelle Internationale de Température de 1948, on a effectué les opérations suivantes.

D'après les données du tableau II et à l'aide de la formule quadratique d'interpolation basée sur les points fixes 0 , $419,59$ et $1063,0^\circ \text{C}$, on a calculé la température de solidification de l'argent qui fut trouvée égale à $960,89^\circ \text{C} \pm 0,03$. Cette valeur est supérieure de $0,09$ degré à celle qui a été adoptée en 1948.

Par le même procédé, on a calculé les températures de solidification de l'alliage eutectique argent-cuivre et de l'antimoine; on a obtenu les températures de $778,99^\circ \text{C} \pm 0,03$ pour l'alliage Ag-Cu et de $630,51^\circ \text{C} \pm 0,03$ pour l'antimoine. Cette dernière valeur coïncide avec la valeur précitée (p. T 129), obtenue à l'aide du procédé établi par le Règlement de l'Échelle Internationale de Température.

Le contrôle de la concordance des deux procédés de reproduction de l'Échelle de Température au point eutectique de l'alliage Ag-Cu fut réalisé par la mesure, à la température de solidification de cet alliage, des forces électromotrices de deux thermocouples étalons, préalablement étalonnés aux tempéra-

tures de solidification de l'antimoine ($630,5^{\circ}\text{C}$), de l'argent ($960,80^{\circ}\text{C}$) et de l'or (1063°C). La température de solidification de l'alliage eutectique Ag-Cu, obtenue par ces mesures, est égale à $778,9^{\circ}\text{C} \pm 0,1$.

La différence des valeurs obtenues pour la température de solidification de l'alliage eutectique Ag-Cu se trouve ainsi dans les limites des erreurs de mesure.

En ce qui concerne la différence entre les valeurs de la température de solidification de l'argent ($0,09$ degré), les résultats obtenus jusqu'à ce jour avec les thermomètres à gaz ne sont pas suffisamment sûrs pour que l'on puisse judicieusement choisir l'une ou l'autre de ces valeurs.

Il est loisible de mentionner qu'en 1953 l'Institut Scientifique de Métrologie de l'U. R. S. S. a obtenu, en utilisant le thermomètre à azote à volume constant, une valeur de la température de solidification de l'argent égale à $960,9^{\circ}\text{C} \pm 0,2$; cette valeur reste toutefois à préciser. A l'aide du même thermomètre à gaz on a trouvé la température absolue de fusion de la glace égale à $273,16^{\circ}\text{K} \pm 0,02$.

Notons encore que si l'on attribue la valeur $960,9$ à la température de solidification de l'argent, et si l'on effectue l'étalonnage des thermocouples étalons Pt — (90 Pt, 10 Rh) conformément aux prescriptions du Règlement de 1948, on obtient pour la température de solidification de l'alliage eutectique Ag-Cu, mesurée au moyen de ces thermocouples, la valeur $778,99^{\circ}\text{C}$; ce résultat coïncide avec celui qui a été trouvé à l'aide des thermomètres à faible résistance ohmique.

III. — CONCLUSION.

1. Les procédés actuels de réalisation de l'Échelle Internationale de Température de 1948 dans l'intervalle de 400 à 1063°C conduisent à une répartition non uniforme des erreurs de réalisation entre les points fixes établis par le Règlement de 1948. La marche de ces erreurs avec la température présente une discontinuité au point de solidification de l'antimoine.

2. L'emploi de thermomètres à résistance de platine de construction spéciale permet de réaliser plus sûrement l'Échelle dans le domaine compris entre 400 et 1063°C . Dans ce cas, il est utile d'employer une formule quadratique d'interpolation basée sur les

points fixes de fusion de la glace, de solidification du zinc et de l'or ⁽¹⁾.

3. A l'aide de l'Échelle de Température réalisée par ce procédé, on a obtenu une valeur de la température de solidification de l'argent égale à $960,89^{\circ}\text{C} \pm 0,03$, tandis qu'on obtient la valeur $960,9^{\circ}\text{C} \pm 0,2$ à l'aide du thermomètre à azote-à volume constant.

(1) Voir sur le même sujet : H. MOSER, *Ann. Physik*, t. 6, 5^e série, 1930, p. 852.

ANNEXE T 17.

Institut de Métrologie du nom de D. I. Mendéléev (U. R. S. S.)

LES THERMOMÈTRES
A RESISTANCE DE PLATINE
DANS LE DOMAINE DE 0 A 1063° C.

par B. I. PILIPTCHOUK (1).

(Traduction remise.)

Comme résultat de l'analyse des formules d'interpolation du thermomètre à résistance de platine, l'auteur suggéra en 1948 l'utilité de l'établissement, pour les thermomètres, des tableaux des rapports des différences des résistances $v_t = \frac{R_t - R_1}{R_2 - R_1}$ (R_1 et R_2 sont les résistances du thermomètre aux températures de deux points fixes quelconques, R_t la résistance du thermomètre à la température t° C comprise entre les points fixes choisis), et non pas des tableaux des rapports des résistances $w_t = \frac{R_t}{R_0}$ (R_t et R_0 sont les résistances du thermomètre aux températures correspondantes t° C et 0° C), ainsi qu'on le fait ordinairement [6], [7].

Partant de la règle empirique de Matthiessen [2], [5], théoriquement argumentée pour la première fois dans la théorie contemporaine des métaux par Y. I. Phrenkel en 1928 [13], on peut présumer que les grandeurs v_t seront presque égales pour les divers thermomètres, la coïncidence étant naturellement

(1) *C. R. Acad. Sc. U. R. S. S.*, nouvelle série, t. 97, n° 2, 1954, p. 243.

d'autant plus parfaite que les points fixes extrêmes de l'intervalle de température considéré seront plus proches l'un de l'autre ⁽²⁾.

Dans ces dernières années ont été publiés [3], [9], [12], [14], quelques résultats numériques pour l'intervalle entre le point d'ébullition de l'hydrogène (20,3°K) et le point d'ébullition de l'oxygène (90,2°K), qui ont démontré que la grandeur des écarts peut atteindre approximativement 0,05 degré.

A plusieurs reprises, on a exposé dans la littérature la proposition d'élargir le domaine d'emploi des thermomètres à résistance de platine du point de solidification de l'antimoine (630,5° C) jusqu'au point de solidification de l'or (1063,0° C) [4], [10].

En 1953, à l'Institut scientifique de Métrologie du nom de D. I. Mendéléev (Leningrad), Ph. S. Alieva fit des mesures avec cinq thermomètres à faible résistance électrique ($R_0 \approx 0,11$ à $0,18 \Omega$) de construction spéciale, fabriqués en gros fils de platine (diamètre 0,5 à 0,6 mm) présentant des coefficients de température différents ($\alpha = 3,88 \cdot 10^{-3}$ à $3,92 \cdot 10^{-3}$ par degré). L'étalonnage des thermomètres a été fait en sept points fixes aux températures : 0° C (point de fusion de glace), 100° C (point d'ébullition de l'eau), 320,9° C (point de solidification du cadmium), 419,5° C (point de solidification du zinc), 630,5° C (point de solidification de l'antimoine), 778,8° C (point de solidification de l'eutectique cuivre-argent), 960,8° C (point de solidification de l'argent) et 1063,0° C (point de solidification de l'or).

Il est intéressant d'essayer de calculer les écarts ν_t dans le domaine des températures supérieures à 0° C.

Dans le tableau I sont indiquées les données de Ph. S. Alieva, ainsi que les résultats des calculs de l'auteur.

Les thermomètres sont disposés de gauche à droite par ordre des valeurs croissantes de $\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 R_0}$.

(2) La règle de Nernst [8], souvent employée pour l'établissement du lien entre les indications de deux thermomètres différents aux températures inférieures à 0° C [1], [11], est fondée sur l'hypothèse que la résistance complémentaire liée aux défauts de régularité du réseau cristallin du métal reste constante dans le large intervalle entre 0° C et la température mesurée. Pour l'établissement des rapports ν_t , la constance de la résistance complémentaire est exigée dans un intervalle plus étroit entre les deux points fixes. Ceci est un argument en faveur de la construction de l'échelle de température à l'aide des rapports ν_t .

°C.	Thermomètre n° 7.		Thermomètre n° 9.		Thermomètre n° 8.		
	$10^2 \alpha = 3,886$		$10^2 \alpha = 3,903.$		$10^2 \alpha = 3,910.$		
	$10^5 w_t.$ (a)	$10^5 v_t.$ (b)	$10^5 w_t.$ (c)	$10^5 v_t.$ (d)	$10^5 w_t.$ (e)	$10^5 v_t.$ (f)	$10^2 \Delta t.$ (g)
0	100 000 (6)	0	100 000 (8)	0	100 000 (10)	0	0
100	138 862 (6)	11 006	139 033 (5)	11 013	139 101 (5)	10 999	—2
320,9 ₁	220 578 (5)	34 147	221 050 (3)	34 153	221 343 (3)	34 134	0
419,5 ₉	255 263 (7)	43 970	255 808 (4)	43 960	256 208 (6)	43 941	—4
630,5 ₁	325 490 (8)	63 858	326 278 (4)	63 842	326 896 (10)	63 826	—4
778,9 ₉	371 779 (6)	76 966	372 742 (5)	76 951	373 538 (4)	76 946	—2
960,8 ₉	424 954 (5)	92 025	426 153 (6)	92 021	427 113 (5)	92 017	—5
1063,0	453 114 (6)	100 000	454 434 (5)	100 000	455 493 (4)	100 000	0

U I.

Thermomètre n° 6.			Thermomètre n° 11.			Moyenne des thermo- mètres n°s 8-6-11 $10^5 \bar{v}_t$.	$10 \frac{dv_t}{dt}$.
$10^3 \alpha = 3,918.$			$10^3 \alpha = 3,925.$				
$10^5 w_t$ (b)	$10^5 v_t$ (c)	$10^2 \Delta t$ (d)	$10^5 w_t$ (b)	$10^5 v_t$ (c)	$10^2 \Delta t$ (d)	(e)	(f)
100 000 (10)	0	0	100 000 (10)	0	0	0	111
139 181 (5)	11 001	0	139 246 (10)	11 002	+1	11 001	108
221 547 (4)	34 128	-6	221 779 (7)	34 140	+6	34 134	101
256 509 (7)	43 944	-1	256 774 (8)	43 951	+6	43 945	98
327 318 (8)	63 826	-4	327 709 (7)	63 837	+8	63 830	91
374 047 (9)	76 946	-2	374 495 (6)	76 953	+5	76 948	86
427 754 (10)	92 026	+6	428 234 (8)	92 019	-4	92 021	80
456 153 (5)	100 000	0	456 704 (7)	100 000	0	100 000	76

Dans les colonnes (*b*) sont donnés les rapports $\frac{R_t}{R_0}$ pour chaque thermomètre aux points fixes dont les températures sont indiquées dans la colonne (*a*). (Les chiffres entre parenthèses indiquent le nombre des observations indépendantes qui ont servi pour le calcul de la valeur définitive ν_t).

Dans les colonnes (*c*) sont donnés les rapports des différences des résistances, à savoir

$$(1) \quad \nu_t = \frac{R_t - R_0}{R_{1063,0} - R_0} = \frac{\omega_t - 1}{\omega_{1063,0} - 1}.$$

Aux températures 0 et 1063,0° C, les valeurs ν_t sont respectivement égales à zéro et à l'unité. A toutes les températures intermédiaires, les rapports ν_t pour les thermomètres individuels sont assez voisins, malgré l'étendue de l'intervalle de température qui dépasse 1000 degrés. La différence maximum entre les rapports ν_t à une température quelconque n'excède pas trois unités du quatrième chiffre (3).

D'après la valeur du coefficient de température α , les thermomètres peuvent être classés en deux groupes : les thermomètres nos 7 et 9 forment un groupe à petit coefficient α ; les thermomètres nos 8, 6 et 11, fabriqués en bon platine, forment un groupe à grand coefficient α .

Dans la colonne (*e*) est indiquée la moyenne arithmétique $\bar{\nu}_t$ des valeurs des trois rapports ν_t des thermomètres du deuxième groupe, à la température t° C de chaque point fixe.

Dans les colonnes (*d*) sont indiqués, pour chaque thermomètre, les écarts en centièmes de degré de $\bar{\nu}_t$ par rapport à la valeur moyenne $\bar{\nu}_t$, écarts calculés d'après la formule approximative suivante valable pour de petits accroissements de ν_t et de t :

$$(2) \quad \Delta t = \frac{\Delta \nu_t}{d\nu_t} = \frac{\nu_t - \bar{\nu}_t}{\frac{d\nu_t}{dt} \cdot \frac{1}{\omega_{1063,0} - 1}} = \frac{(\omega_{1063,0} - 1)(\nu_t - \bar{\nu}_t)}{\frac{1}{R_0} \frac{dR_t}{dt}}.$$

(3) A titre de comparaison, il faut noter que les rapports de résistance $\omega_{1063,0}$ pour les thermomètres extrêmes nos 7 et 11 sont égaux à 4,5311 et 4,5670. Comme la dérivée $\frac{d\omega_t}{dt}$ à la température de solidification de l'or est égale approximativement à $270 \cdot 10^{-3}$, la différence de ces nombres (0,0359) d'après le tableau de graduation ω_t de n'importe lequel de ces thermomètres correspondra à une différence de température de l'ordre de 13 degrés.

Les valeurs numériques $\frac{dv_t}{dt}$ pour le thermomètre n° 7 sont données dans la colonne (f) du tableau. Quoique, strictement parlant, les valeurs des dérivées soient différentes pour les divers thermomètres, il est tout à fait admissible d'employer ces valeurs numériques particulières lors de l'appréciation des écarts.

En examinant les trois colonnes (d), nous serons convaincus de ce que, pour le groupe des thermomètres qui ont $\frac{R_{100}}{R_0} \approx 1,392$, les écarts restent inférieurs à 0,1 degré et atteignent dans le cas le plus défavorable 0,08 degré (thermomètre n° 11 à la température 960,8° C). Autrement dit, si nous étalonnons ces thermomètres en deux points fixes seulement, au point de fusion de la glace et au point de solidification de l'or, et si nous employons ensuite le tableau des valeurs moyennes \bar{v}_t pour le calcul de la température, les erreurs d'interpolation ne dépasseraient pas 0,1 degré. Une telle précision dans la détermination de la température est tout à fait suffisante dans la plupart des cas dans la pratique du laboratoire et de l'industrie.

De nouveaux résultats expérimentaux sur le rapport v_t pour les thermomètres en platine extrêmement pur présenteraient un grand intérêt théorique et pratique. Le tableau des rapports moyens doit être établi d'après un nombre suffisant d'observations sûres.

Ainsi que le montre la formule (1), le rapport des différences des résistances v_t est une fonction de la température de la même puissance que le rapport des résistances w_t . Il faut chercher la représentation analytique de v_t dans la forme d'un polynôme sans terme à la puissance zéro de la température :

$$(3) \quad v_t = \sum_{i=1}^n a_i t^i,$$

qui satisfait l'exigence $v_0 = 0$ (4).

(4) Les valeurs moyennes \bar{v}_t citées dans le tableau, peuvent être représentées avec une erreur de l'ordre de 0,02 degré à l'aide de la formule d'interpolation du second degré

$$10^5 \bar{v}_t = 111,6814t - 1,65644 \cdot 10^{-2} t^2.$$

Pour le rapport des différences des résistances dans le domaine du

Les écarts individuels entre les valeurs ν_t d'un thermomètre quelconque et les valeurs moyennes du tableau peuvent être représentés comme fonction de la température et du « paramètre de la qualité du platine » ($\omega_{1063,0}$). On peut présumer qu'il sera possible de séparer cette fonction en deux fonctions universelles (c'est-à-dire les mêmes pour tous les thermomètres), l'une ne dépendant que de la température, l'autre d'un paramètre de qualité.

point de fusion de la glace (0°C) au point de solidification du cuivre (1083°C), on a l'expression analogue

$$10^5 \bar{\nu}_t = 10^5 \frac{R_t - R_0}{R_{1083} - R_0} = 10^5 \frac{\nu_t}{\nu_{1083}} = 110,0063t - 1,63160 \cdot 10^{-2}t^2.$$

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] N. A. BRILLIANTOV, *J. Techn. Physiki*, t. 18, 1948, p. 1113.
- [2] L. LANDAU et Ph. КОМПАНЕЕЦ, *La conductibilité électrique des métaux*, Kharkov, 1935, p. 15 et 55-57.
- [3] LOS et MORRISON, *Canadian J. Phys.*, t. 29, (2), 1951, p. 143.
- [4] H. MOSER, *Ann. Physik*, (5), t. 6, 1930, p. 852.
- [5] P. PAYERLIS, *La théorie électronique des métaux*, I. L., Moscou, 1947, p. 75 et suiv.
- [6] B. I. PILIPTCHOUK, *Travaux de l'Institut de Métrologie*, fasc. 4, 64, 1948, p. 3.
- [7] B. I. PILIPTCHOUK, *J. Techn. Physiki*, t. 19, (6), 1949, p. 669.
- [8] M. M. POPOV, *Thermométrie et calorimétrie*, O. N. T. I., Moscou, 1934, p. 169.
- [9] *Procès-Verbaux du C. I. P. M.*, t. XXI, 1948, p. T 84.
- [10] P. G. STRELKOV, *Zavodskaja Laboratoria*, t. 8, (10-11), 1939, p. 1101.
- [11] P. G. STRELKOV, *Bull. Acad. Sc. U. R. S. S.*, série physique, t. 14, (1), 1950, p. 116.
- [12] H. VAN DIJK, *Procès-Verbaux du C. I. P. M.*, t. XXIII-B, 1952, p. T 48.
- [13] J. I. PHRENKEL, *U. F. N.*, t. 30, (1-2), 1946, p. 33.
- [14] H. J. HOGE, *Rev. Sc. Instr.*, t. 21, (9), 1950, p. 815.

ANNEXE T 18.

Chambre Centrale des Mesures et Instruments de Mesure
(U. R. S. S.).

PROPOSITION CONCERNANT L'EXTENSION
DE L'ÉCHELLE INTERNATIONALE
DE TEMPÉRATURE
AU-DESSOUS
DU POINT D'ÉBULLITION DE L'OXYGÈNE

(Traduction remise.)

Pour l'extension de l'Échelle de température au-dessous du point de l'oxygène, il est utile d'employer la résistance électrique d'un métal en qualité de propriété thermique et de choisir le platine comme substance thermométrique.

Il est douteux qu'on puisse établir l'échelle entre 10° K et 90° K en faisant appel à la résistance du platine exactement comme dans l'Échelle Internationale, c'est-à-dire en attribuant des valeurs numériques aux températures d'un petit nombre de changements de phase au-dessous de 90° K et en recommandant pour l'interpolation entre les points fixes une relation analytique suffisamment simple entre des rapports de résistance W et la température T .

L'expérience de l'établissement de la relation entre la résistance relative du platine et la température à l'aide d'un tableau numérique, répétée plusieurs fois [1], [2] et surtout au N. B. S. [3], témoigne en faveur du remplacement de la forme analytique de la relation entre W et T par un tableau.

TABLEAU I.

Valeurs « compensées » \overline{W} pour le platine IONCh—6.

T(°K).	$10^6 \overline{W}$.	$10^6 \Delta^1 \overline{W}$.	$10^6 \Delta^2 \overline{W}$.	T(°K).	$10^6 \overline{W}$.	$10^6 \Delta^1 \overline{W}$.	$10^6 \Delta^2 \overline{W}$.
10,0...	778,2			16,0...	2 079,9	75,7	2,8
2...	798,2	20,0	1,0	2...	2 158,4	78,5	2,9
4...	819,2	21,0	1,1	4...	2 239,8	81,4	3,0
6...	841,3	22,1	1,1	6...	2 324,2	84,4	3,1
8...	864,5	23,2	1,2	8...	2 411,7	87,5	3,1
11,0...	888,9	24,4	1,3	17,0...	2 502,3	90,6	
2...	914,6	25,7	1,3	17.....	2 502,3		78,8
4...	941,6	27,0	1,4	18.....	3 003,5	501,2	86,5
6...	970,0	28,4	1,4	19.....	3 591,2	587,7	93,3
8...	999,8	29,8	1,5	20.....	4 272,2	681,0	99,3
12,0...	1 031,1	31,3	1,6	21.....	5 052,5	780,3	104,9
2...	1 064,0	32,9	1,6	22.....	5 937,7	885,2	109,7
4...	1 098,5	34,5	1,7	23.....	6 932,6	994,9	113,7
6...	1 134,7	36,2	1,8	24.....	8 041,2	1 108,6	116,8
8...	1 172,7	38,0	1,8	25.....	9 266,6	1 225,4	119,0
13,0...	1 212,5	39,8	1,9	26.....	10 611,0	1 344,4	120,2
2...	1 254,2	41,7	2,0	27.....	12 075,6	1 464,6	120,6
4...	1 297,9	43,7	2,1	28.....	13 660,8	1 585,2	120,8
6...	1 343,7	45,8	2,2	29.....	15 366,8	1 706,0	120,9
8...	1 391,7	48,0	2,2	30.....	17 193,7	1 826,9	120,6
14,0...	1 441,9	50,2	2,3	31.....	19 141,2	1 947,5	119,8
2...	1 494,4	52,5	2,4	32.....	21 208,5	2 067,3	118,1
4...	1 549,3	54,9	2,4	33.....	23 393,9	2 185,4	115,9
6...	1 606,6	57,3	2,5	34.....	25 695,2	2 301,3	113,2
8...	1 666,4	59,8	2,5	35.....	28 109,7	2 414,5	110,0
15,0...	1 728,7	62,3	2,6	36.....	30 634,2	2 524,5	106,4
2...	1 793,6	64,9	2,6	37.....	33 265,1	2 630,9	102,7
4...	1 861,1	67,5	2,7	38.....	35 998,7	2 733,6	98,9
6...	1 931,3	70,2	2,7	39.....	38 831,2	2 832,5	95,0
8...	2 004,2	72,9	2,8	40.....	41 758,7	2 927,5	91,1
						3 018,6	

TABLEAU I.

Valeurs « compensées » \bar{W} pour le platine IONCh—6.

T(°K).	$10^6 \bar{W}$.	$10^6 \Delta^1 \bar{W}$.	$10^6 \Delta^2 \bar{W}$.	T(°K).	$10^6 \bar{W}$.	$10^6 \Delta^1 \bar{W}$.	$10^6 \Delta^2 \bar{W}$.
41.....	44 777,3		87,3	69.....	152 264,1		12,4
42.....	47 883,2	3 105,9	83,5	70.....	156 530,1	4 266,0	11,1
43.....	51 072,6	3 189,4	79,8	71.....	160 807,2	4 277,1	9,9
44.....	54 341,8	3 269,2	76,1	72.....	165 094,2	4 287,0	8,8
45.....	57 687,1	3 345,3	72,5	73.....	169 390,0	4 295,8	7,8
46.....	61 104,9	3 417,8	68,9	74.....	173 693,6	4 303,6	6,9
47.....	64 591,6	3 486,7	65,3	75.....	178 004,1	4 310,5	6,0
48.....	68 143,6	3 552,0	61,7	76.....	182 320,6	4 316,5	5,2
49.....	71 757,3	3 613,7	58,2	77.....	186 642,3	4 321,7	4,4
50.....	75 429,2	3 671,9	54,7	78.....	190 968,4	4 326,1	3,7
51.....	79 155,8	3 726,6	51,2	79.....	195 297,8	4 329,8	3,1
52.....	82 933,6	3 777,8	47,7	80.....	199 630,7	4 332,9	2,6
53.....	86 759,1	3 825,5	44,3	81.....	203 966,2	4 335,5	2,2
54.....	90 628,9	3 869,8	41,0	82.....	208 303,9	4 337,7	1,9
55.....	94 539,7	3 910,8	37,8	83.....	212 643,5	4 339,6	1,7
56.....	98 488,3	3 948,6	34,8	84.....	216 984,8	4 341,3	1,6
57.....	102 471,7	3 983,4	32,2	85.....	221 327,7	4 342,9	1,4
58.....	106 487,3	4 015,6	30,0	86.....	225 672,0	4 344,3	1,1
59.....	110 532,9	4 045,6	28,1	87.....	230 017,8	4 345,4	0,6
60.....	114 606,6	4 073,7	26,4	88.....	234 363,8	4 346,0	-0,3
61.....	118 706,7	4 100,1	24,8	89.....	238 709,5	4 347,7	-1,4
62.....	122 831,6	4 124,9	23,1	90.....	243 053,8	4 344,3	-2,3
63.....	126 979,6	4 148,0	21,5	91.....	247 395,8	4 342,0	-2,8
64.....	131 149,1	4 169,5	19,9	92.....	251 735,0	4 339,2	-3,0
65.....	135 338,5	4 189,4	18,3	93.....	256 071,2	4 336,2	-3,1
66.....	139 546,2	4 207,7	16,8	94.....	260 404,3	4 333,1	-3,1
67.....	143 770,7	4 224,5	15,3	95.....	264 734,3	4 330,0	-3,1
68.....	148 010,5	4 239,8	13,8				
		4 253,6					

Nous avons suivi la voie de déterminer l'échelle de température entre 10 et 90° K par la résistance du platine pur

($W_{100^{\circ}\text{C}} > 1,3924$) à l'aide du tableau de graduation d'un groupe de quatre thermomètres à résistance qui furent comparés en 107 points, entre 10,7 et 94,9° K, au thermomètre à hélium sans espace nuisible [4]. La description sommaire de ce travail est en cours de publication [3] et son résultat principal est l'établissement d'un tableau donnant la relation entre la résistance relative du platine $W = \frac{R_t}{R_0}$ et la température T (tableau I).

Le grand nombre d'études faites dans divers pays sur les températures inférieures à 90° K nous conduisent à émettre le vœu de l'extension de l'Échelle Internationale au-dessous du point d'ébullition de l'oxygène.

Nous avons entrepris de déterminer une nouvelle graduation du platine car tous les tableaux publiés et connus, concernant les températures inférieures à 90° K, ont un défaut commun : ils se rapportent à un platine insuffisamment pur.

La réduction des indications des thermomètres de platine au tableau d'interpolation à l'aide de la règle de Matthiessen, ne peut donner des résultats satisfaisants si la pureté du platine du tableau diffère considérablement de celle du platine des thermomètres (d'après le critère fondamental $W_{100^{\circ}\text{C}}$ de l'Échelle Internationale).

Si le platine du thermomètre diffère peu de celui du tableau, l'emploi de la règle de Matthiessen avec une correction calculée pour deux points (O_2 et H_2), peut déterminer l'échelle du thermomètre entre 20 et 90° K avec une précision de quelques centièmes de degré. Au-dessous de 20° K, il faut faire une graduation supplémentaire par comparaison au thermomètre à tension de vapeur de l'hydrogène.

Pour obtenir une graduation plus précise, il faut limiter assez strictement la différence entre le platine du thermomètre et celui du tableau.

L'emploi de la règle de Matthiessen est limité par le fait que la différence entre les W de diverses qualités de platine de pureté différente passe par un maximum près de 40° K. C'est pourquoi, pour améliorer les résultats de la réduction des indications des thermomètres, on peut introduire un point fixe intermédiaire près de 40° K. Ce point pourrait être la température très bien reproductible du changement de phase de l'oxygène solide à la température de 43,8° K [6], [7]. Dans ce cas, la règle de

Matthiessen donne de bons résultats pour l'intervalle entre 90 et 43,8° K.

Actuellement, nous ne pouvons pas formuler un procédé satisfaisant pour la réduction des échelles des thermomètres au tableau entre 43,8 et 20° K ; nous ne pouvons pas encore proposer non plus un procédé général satisfaisant pour la réduction de l'échelle entre 90 et 20° K ou entre 90 et 10° K.

Évidemment, la réduction des échelles des thermomètres donne les meilleurs résultats dans les cas où la qualité du platine est semblable. Il est tout à fait irrationnel, lors de la fabrication des thermomètres, d'ajuster la pureté de leur platine en partant du platine insuffisamment pur des tableaux. C'est pourquoi le premier pas vers l'extension de l'Échelle Internationale dans le domaine des basses températures est la graduation du platine pur actuel.

L'échelle de notre tableau est liée à l'Échelle Internationale par le fait que le point fondamental et unique, à partir duquel on doit établir le tableau, est le point de l'oxygène, auquel est attribuée la valeur 90,19° K ($T_0 = 273,16°$ K). Les dérivées $\frac{dW}{dT}$ au point de l'oxygène ne coïncident pas selon qu'on les calcule à partir du tableau ou de l'Échelle Internationale ; la différence atteint 0,2 %. C'est une conséquence du caractère approximatif de la relation entre W et T dans l'Échelle Internationale de 1948.

Les relations dérivées de W(T) dans le tableau établi d'après le thermomètre L6 du N. B. S. [3], ont des écarts plus grands qu'il serait à désirer.

Les différences entre notre tableau et le tableau publié par le N. B. S. montrent quelques irrégularités. Ceci peut être le résultat des erreurs apparues dans le tableau du N. B. S. aux raccordements entre les domaines où les résultats expérimentaux ont été compensés par une formule en série de puissances.

Nous proposons de recommander aux Laboratoires qui ont la possibilité de graduer complètement ou partiellement le platine actuel pur entre 10 et 90° K, de comparer leurs résultats avec ceux de notre tableau, ce qui peut devenir la marche à suivre vers l'extension de l'Échelle Internationale aux basses températures. Ensuite, nous voudrions qu'on recommande la recherche

d'une méthode satisfaisante de réduction des échelles des thermomètres au tableau.

De notre côté, nous faisons dans ce domaine l'étude d'une série d'échantillons de platine, qui doit nous donner des résultats quantitatifs sur ce que l'on peut tirer de la règle de Matthiessen et sur la différence du comportement thermométrique de la résistance de différentes qualités de platine. Nous espérons établir une corrélation entre $W_{100}^{\circ}\text{C}$, la résistance résiduelle et les caractéristiques thermiques du platine au-dessous de 90°K .

Nous trouvons que le degré de concordance entre l'échelle, déterminée par notre tableau, et le tableau thermodynamique suffit pour les besoins actuels. L'erreur du tableau lui-même conduit à un écart approchant $\pm 0,1$ degré par rapport à l'échelle thermodynamique.

Les erreurs des valeurs numériques adoptées pour le deuxième coefficient du viriel de l'hélium et pour le coefficient de dilatation du cuivre peuvent introduire dans le tableau des écarts atteignant $\pm 0,01$ degré.

L'erreur sur la valeur numérique attribuée actuellement à la température du point de l'oxygène dans l'Échelle Internationale et sur celle de la température de fusion de la glace dans l'échelle Kelvin est la source d'un écart systématique entre l'échelle du tableau et l'échelle thermodynamique.

En désignant par $T^{\circ}\text{K}$ (thermodyn.) la température thermodynamique, par $T^{\circ}\text{K}$ (tabl.) la température définie par le tableau et par $T_{(0_2)}^{\circ}\text{K}$ la température corrigée d'ébullition de l'oxygène à la pression normale [$T_{(0_2)}^{\circ}\text{K} = T_0^{\circ}\text{K} + t_{(0_2)}^{\circ}\text{C}$], nous caractérisons notre tableau par l'expression

$$T^{\circ}\text{K} (\text{thermodyn.}) = T^{\circ}\text{K} (\text{tabl.}) \frac{T_{(0_2)}^{\circ}\text{K}}{90,19} \pm 0,02.$$

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] W. H. KEESOM et A. HYL, *Leiden Commun.*, n° 242-b.
- [2] F. HENNING et J. OTTO, *Phys. Z.*, t. 37, 1936, p. 601.
- [3] H. J. HOGE et F. G. BRICKWEDDE, *J. Res. N. B. S.*, t. 22, 1939, p. 351.
- [4] A. S. BOROWIK-ROMANOV et P. G. STRELKOV, *C. R. Acad. Sc. U. R. S. S.*, t. 83, 1952, p. 59 (voir aussi *Procès-Verbaux du Comité Consultatif de Thermométrie*, 1952, Annexe T 2, p. T 32).

- [5] A. S. BOROWIK-ROMANOV, M. P. ORLOWA et P. G. STRELKOV, *Établissement de l'échelle des basses températures à l'aide d'un tableau de graduation d'un groupe de thermomètres à résistance de platine*, 1954.
- [6] H. J. HOGE, *J. Res. N. B. S.*, t. 44, 1950, p. 321.
- [7] M. P. ORLOWA, *Thèse*, 1953.
-

ANNEXE T 19

Tokyo Institute of Technology (Japon).

NOUVELLES MESURES DU
POINT DE SOLIDIFICATION DE L'ARGENT

par J. OISHI, M. AWANO et T. MOCHIZUKI.

(Traduction.)

À la Neuvième Conférence Générale des Poids et Mesures en 1948, on a adopté pour la deuxième constante du rayonnement de Planck, C_2 , la valeur 1,438 cm. degré d'après les valeurs les plus récentes des constantes atomiques. Néanmoins, faute de mesures nouvelles, on a dû conserver pour le point de solidification de l'or la valeur adoptée 40 ans auparavant de 1063° C. Le texte de l'Échelle Internationale de Température de 1948, à la fin, dit que : « La valeur 1063° C pour le point de l'or a été acceptée en tant que définition conventionnelle et le restera sans aucun doute jusqu'à l'apparition de résultats fondamentaux nouveaux et plus exacts ». En conséquence, nous avons entrepris une mesure du point de l'or au thermomètre à gaz, et nous donnons ici un rapport préliminaire sur la mesure du point de l'argent, point fixe important dans la région des hautes températures.

THERMOMÈTRE A GAZ ET THERMOSTATS. — Les mesures ont été effectuées au moyen d'un thermomètre à gaz à volume constant rempli d'azote.

Le volume du réservoir de gaz, en silice vitreuse pure, mesuré expérimentalement est donné par

$$V_{lp} = 205,725(1 + 1,62 \cdot 10^{-6}t + 3,7 \cdot 10^{-5}p) \text{ cm}^3;$$

V_{tp} est le volume à la température t° C, la pression intérieure étant p en mètre de mercure et la pression extérieure 1 atmosphère. On a pris soin d'attendre environ 50 heures pour le refroidissement du réservoir, depuis la température élevée jusqu'à la température ambiante, afin de réduire l'effet de la dépression du point zéro du réservoir de silice.

La quantité de gaz introduite dans le thermomètre était ajustée de telle sorte que la pression soit environ 1 atmosphère à la température élevée, afin d'éviter une déformation éventuelle du réservoir sous l'influence de la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur.

Afin de réduire le gradient de température dans la colonne de mercure des tubes manométriques, ces tubes, en verre, d'un diamètre de 20 mm, étaient entourés de cylindres d'aluminium dont les parois avaient une épaisseur de 10 mm; la différence de température sur un mètre a été ainsi réduite à moins de 0,5 degré, deux fois moins que celle qu'aurait présentée une colonne non protégée. Lorsque la pression du gaz est de 1 atmosphère au point de l'argent, elle devient 170 mm de mercure au point de fusion de la glace. Il suffisait de mesurer la température moyenne de la colonne de mercure du manomètre avec une exactitude de 0,4 degré au point de l'argent pour que la mesure de la pression soit exacte à 6.10^{-5} près. Ce baromètre était donc tout à fait satisfaisant pour les besoins de cette mesure. Les cylindres d'aluminium étaient percés de deux ouvertures à travers lesquelles on observait au cathétomètre le ménisque supérieur et le ménisque inférieur de mercure.

Le volume de l'espace nuisible ($1,126 \text{ cm}^3$) a été mesuré par pesée de mercure.

Le thermostat utilisé au point de fusion de la glace est le même que celui qui avait servi à l'un des auteurs (1).

Le thermostat au point de l'argent était un four électrique, à résistance de nichrome, dont le diamètre intérieur était 10 cm, le diamètre extérieur 30 cm et la hauteur 50 cm; sa température était uniforme à 0,2 degré près à 1000° C. Un cylindre de cuivre pur, dont les parois avaient 13 mm d'épaisseur, recouvert complètement à l'extérieur, à l'intérieur et aux deux extrémités par du graphite, était placé en contact avec la paroi intérieure du tube

(1) M. KINOSHITA et J. OISHI, *Phil. Mag.*, t. 24, 1937, p. 52.

d'alumine du four au centre duquel se trouvait le réservoir du thermomètre à gaz. La puissance électrique fournie au fil résistant du four était contrôlée automatiquement par un système de relais comportant une cellule photoélectrique, un galvanomètre sensible, un potentiomètre et un couple thermoélectrique platine-platine rhodié à 10 % introduit dans la paroi du four. La température du thermostat était ajustée au point de l'argent à l'aide d'un thermocouple étalon de platine-platine rhodié à 10 % introduit dans la paroi du cylindre de cuivre; sa force thermoélectrique avait été déterminée au moyen d'un lingot d'argent pur de 900 g dans un creuset de graphite.

RÉSULTATS DES MESURES. — Les mesures ont été faites dans l'ordre suivant : d'abord au point de fusion de la glace, puis au point de l'argent, et enfin à nouveau au point de fusion de la glace. Voici par exemple une série de mesures $p_{0i} = 167,47$, $p_{Ag} = 744,55$ et $p_{0f} = 167,48$, p_{0i} , p_{0f} et p_{Ag} étant respectivement, en millimètres de mercure, la pression initiale, la pression finale au point de fusion de la glace et la pression au point de l'argent.

On a observé que la pression avait tendance à augmenter graduellement, d'une quantité qui atteignait parfois quelques centièmes de millimètre de mercure, entre la pression initiale et la pression finale au point de fusion de la glace. Par conséquent, à la pression du point de glace, on a pris la moyenne des deux valeurs. Jusqu'ici cinq séries de mesures ont été faites, qui donnent pour la température thermodynamique du point de l'argent les valeurs suivantes, T_0 étant pris égal à $273,15^\circ \text{K}$:

$t_{Ag} (^\circ\text{C})$.

961,3

961,1

961,1

961,1

961,2

Moyenne : 961,2

DISCUSSION DES RÉSULTATS. — On suppose que l'accroissement progressif de la pression du gaz s'explique par la diffusion de gaz à travers la paroi du réservoir de silice aux températures élevées; l'effet de la diffusion serait le plus notable à environ 700°C car, dans le cas présent, de l'azote se trouve à l'intérieur du réservoir

et de l'air à l'extérieur ⁽²⁾. Par conséquent, si le refroidissement du réservoir à partir des températures élevées s'effectue assez rapidement au voisinage de 700° C, l'effet de la diffusion sera réduit au minimum.

On peut déterminer avec une exactitude de $\pm 0,1$ degré la température t_v au point de l'argent donnée directement par le thermomètre à gaz à volume constant. L'on pense que t_v serait plus petit que la température thermodynamique t d'environ 1,0 degré à la pression initiale (au point de fusion de la glace) $p_0 = 1\ 000$ mm de mercure pour l'azote. Dans le cas présent, $t - t_v = 0,17$ degré pour $p_0 = 170$ mm de mercure. En conséquence, nous considérons que la température thermodynamique du point de l'argent, dans les mesures présentées ici, a pu être déterminée avec une exactitude meilleure que $\pm 0,2$ degré, compte tenu des erreurs provenant du thermostat à température élevée, du couple étalon, de l'espace nuisible, de la tendance à l'accroissement de pression, de la réduction de la température du thermomètre à gaz à la température thermodynamique, etc. Bien que nos mesures ne soient pas encore achevées, nous pensons qu'il convient d'examiner à nouveau ce qui est dit à la fin du texte de l'Échelle Internationale de Température de 1948 : « Le passage de 960,5 à 960,8° C est bien dans les limites d'incertitude de la fixation du point de solidification de l'argent dans l'échelle thermodynamique », puisque, à présent, l'on s'attend à pouvoir déterminer la température thermodynamique avec une exactitude de 0,2 degré au point de l'argent.

(30 mars 1954.)

(²) S. DUSHMAN, *Vacuum Technique*, John Wiley Inc., 1949, p. 534.

ANNEXE T 20.

National Research Council (Canada).

LA STABILITÉ
DE LA TEMPÉRATURE DE SOLIDIFICATION
DU ZINC TRÈS PUR

par E. H. McLAREN.

(Traduction.)

A la réunion de 1948 du Comité Consultatif de Thermométrie, Kolossov a proposé ⁽¹⁾ que le point de solidification du zinc remplace le point de l'argent dans l'échelle du couple thermo-électrique, et en 1952 il a proposé de plus ⁽²⁾ que le point du zinc remplace le point du soufre en tant que point fixe primaire dans l'Échelle Internationale de Température. Les travaux effectués dans notre laboratoire au cours des deux dernières années ont confirmé que le point du zinc s'obtient facilement et qu'il est reproductible avec un degré d'exactitude plus élevé que le point du soufre ⁽³⁾.

Des échantillons cylindriques de zinc New Jersey S. P. ⁽⁴⁾ (redistillé, 99,999 %) d'un kilogramme, exposés à l'air, sont refroidis dans un four à bloc de cuivre fortement calorifugé. On a mesuré la température dans l'axe de la masse fondue avec un thermomètre

⁽¹⁾ A. G. KOLOSsov, *Procès-Verbaux du Comité International des Poids et Mesures*, t. XXI, 1948, p. T 95.

⁽²⁾ *Procès-Verbaux C. I. P. M.*, t. XXIII-B, 1952, p. T 22.

⁽³⁾ E. H. McLAREN, *J. Appl. Phys.*, t. 25, 1954, p. 808.

⁽⁴⁾ H. M. CYR, *Trans. Amer. Electr. Chem. Soc.*, t. 52, 1927, p. 349.

à résistance de platine du type Meyer et un pont de Mueller G₂ de Leeds et Northrup muni d'une décade supplémentaire de 10^{-5} ohm (5). Lorsqu'on chauffe et qu'on refroidit assez rapidement, on obtient les courbes de fusion et de solidification caractéristiques des alliages de zinc; la différence de température entre les points anguleux correspondant au solide et au liquide sur une courbe de fusion de zinc S. P. est environ 0,001 degré. Lorsque la vitesse de refroidissement est suffisamment réduite on obtient une courbe temps-température présentant un plateau. La température du plateau est stationnaire à $\pm 5 \cdot 10^{-5}$ degré pendant des durées qui dépendent de la vitesse de refroidissement. La forme en plateau est due probablement à une séparation hors d'équilibre et à la formation subséquente d'un noyau pendant la congélation lente. Afin de réduire la durée pendant laquelle le thermomètre est dans la région de surfusion (durée qui peut atteindre 2 heures dans une congélation lente normale), on congèle un manteau de zinc sur le puits axial thermométrique et la température du plateau est réalisée en 15 minutes environ. Pendant ces congélations provoquées, le manteau fournit sans doute autour de la bobine du thermomètre une intersurface pour la formation du noyau. On n'a trouvé aucune différence mesurable de la température du plateau entre les congélations provoquées et les congélations lentes normales.

REPRODUCTIBILITÉ DU POINT DU ZINC. — La température de plateau de trois échantillons de zinc S. P., provenant de différents lots de distillation, a été mesurée pendant une période de six semaines comportant 26 congélations en août-septembre 1953. L'écart moyen des températures de plateau pour ce groupe était inférieur à $2 \cdot 10^{-4}$ degré, comme le montre la figure 1. On a trouvé que la température de congélation du zinc varie de $0,0043 \pm 0,0001$ degré pour une variation de pression d'une atmosphère.

En mars-avril 1954, on a fait une autre série de 28 congélations des trois échantillons de zinc S. P.; là encore il était impossible de distinguer les divers échantillons d'après la valeur de R_{Zn} , bien que la durée totale du traitement thermique à 420° C ait été respectivement 79, 32 et 15 jours. L'écart moyen pour les 28 congé-

(5) R. M. LELACHEUR, *Rev. Sc. Inst.*, t. 23, 1952, p. 383.

lations était encore de $\pm 2 \cdot 10^{-4}$ degré, mais la température calculée montrait une élévation de 0,0006 degré par rapport aux mesures d'août-septembre 1953. On estime que des erreurs équivalant à 0,0003 degré pourraient être attribuées aux erreurs d'étalonnage au point triple et aux erreurs d'étalonnage du pont. Il resterait donc à expliquer 0,0003 degré. Il sera effectué une série de mesures comparatives destinées à montrer s'il est possible que le coefficient $\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 R_0}$ du thermomètre ait pu augmenter par suite d'un traitement thermique prolongé. Une élévation de

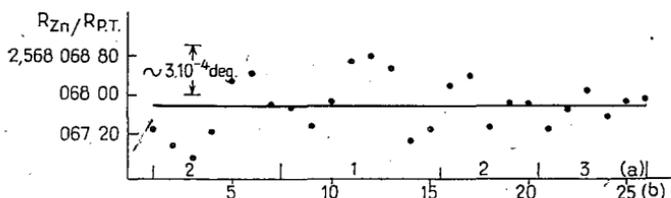


Fig. 1. — Reproductibilité de la température de solidification du zinc (août-septembre 1953).

En abscisses : (a) N° d'échantillon de zinc; (b) N° de congélation.

Moyenne de $\frac{R_{Zn}}{R_{P.T.}} = 2,568\ 067\ 8$; écart moyen par rapport à cette moyenne $\pm 1,4 \cdot 10^{-4}$ deg.

la température de solidification du zinc de 0,0006 degré équivaldrait à un accroissement inférieur à 15 $\mu\Omega$ de l'intervalle fondamental d'un thermomètre de 25 Ω ; cette quantité est trop petite pour être décelée avec certitude par les techniques usuelles du point d'ébullition de l'eau.

L'écart moyen de l'intervalle fondamental du thermomètre S167 déterminé pendant une période de six semaines au National Bureau of Standards, était $\pm 28 \mu\Omega$ d'après les indications obtenues au point d'ébullition de l'eau⁽⁶⁾. Notre écart moyen de $2 \cdot 10^{-4}$ degré sur la température de solidification du zinc pendant une période de durée comparable équivalait à une reproductibilité mesurée de $\pm 5 \mu\Omega$ de l'intervalle fondamental. Il apparaît donc que le point de solidification du zinc montre quelque supériorité

(6) Cf. H. F. STIMSON, ce volume, Annexe T 11, p. T 96.

sur le point d'ébullition de l'eau en tant que point fixe pour l'intercomparaison d'appareils de mesure de température entre divers laboratoires nationaux.

ACCROISSEMENT DE R_0 . — La résistance au point triple R_{PT} et la résistance de plateau R_{Zn} du thermomètre sont indiquées à la figure 2. On peut voir que R_{PT} et R_{Zn} augmentent d'une façon à

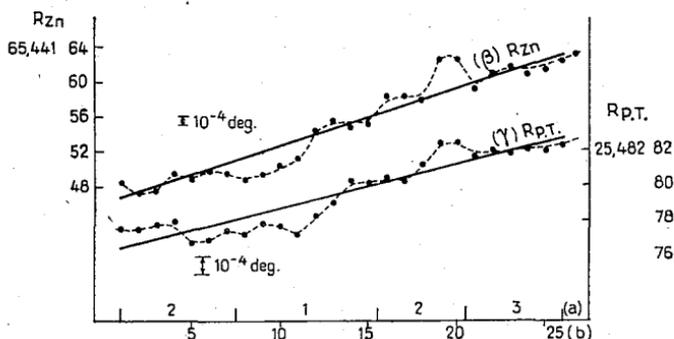


Fig. 2. — Valeurs des résistances R_{Zn} et R_{PT} du thermomètre (août-septembre 1953).

En abscisses : (a) N° d'échantillon de zinc; (b) N° de congélation.

En ordonnées : Résistances en « unités du pont de mesure (u. p.) ».

Écart moyen de R_{Zn} autour de (β) : $12 \cdot 10^{-6}$ u. p.;

Écart moyen de R_{PT} autour de (γ) : $6,2 \cdot 10^{-6}$ u. p.

peu près linéaire avec la durée d'immersion à la température de solidification du zinc. La figure 3 représente la variation de R_{Zn} pour un thermomètre immergé en permanence pendant huit jours à environ 420°C . Trois thermomètres étudiés jusqu'ici montrent un accroissement de R_0 d'environ 2 à $4 \cdot 10^{-5} \Omega$ par journée de traitement thermique à 420°C . Cet accroissement de R_0 pendant un traitement thermique prolongé est comparable aux résultats rapportés par Barber (7) et Stimson (8). Sur ce phénomène des recherches plus complètes sont en cours, comportant une étude de

(7) Procès-Verbaux C. I. P. M., t. XXIII-B, 1952, p. T 64.

(8) H. F. STIMSON, Procès-Verbaux C. I. P. M., t. XXIII-B, 1952, p. T 106.

l'effet des traitements thermiques et de cycles thermiques rapides sur plusieurs thermomètres.

Pour poursuivre les recherches sur la stabilité à long terme de

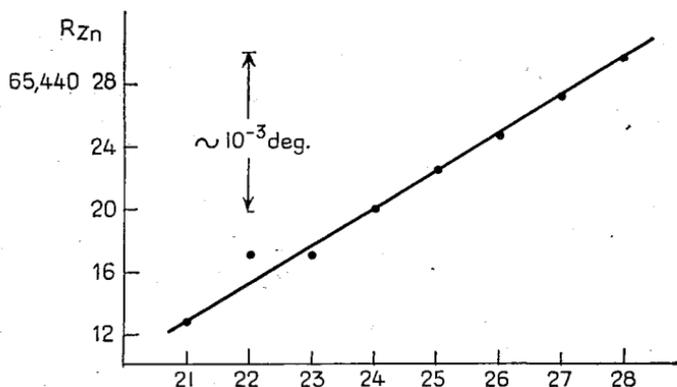


Fig. 3. — Moyenne journalière de la résistance R_{Zn} du thermomètre S 156 continuellement immergé à 420° C environ.

En abscisses : Dates.

En ordonnées : résistance en « unités du pont de mesure ».

Dates.	Nombre de congélations.
21 octobre 1952.....	5
22 »	5
23 »	6
24 »	5
25 »	5
26 »	5
27 »	3
28 »	1
	35

l'appareillage des mesures de température, un travail intensif sur la reproductibilité des ampoules à point triple de l'eau, des thermomètres et du pont est nécessaire. Ce travail est mis en route actuellement.

ANNEXE T 21.

National Research Council (Canada).

ANALYSE THERMIQUE
DU ZINC DE GRANDE PURETÉ

par E. H. McLAREN.

(Traduction.)

Le contenu en impuretés susceptibles de modifier les propriétés thermométriques des métaux très purs peut être déterminé par une analyse thermique de précision [1-5]. On a procédé à une telle étude du zinc dans notre laboratoire, par une technique simple dans laquelle la température du four est ajustée quelques degrés au-dessus ou au-dessous du point de fusion tandis que la température du thermomètre placé dans l'axe du four est observée d'une façon continue. On a étudié des échantillons de zinc New Jersey C. P. (99,999 %) et S. P. (C. P. redistillé) par des congélations normales et par des congélations provoquées (*voir* Annexe T 20, p. T 152).

La figure 1 montre des courbes de fusion et de congélation typiques obtenues à une vitesse de transformation relativement rapide. Les températures indiquées par ces courbes s'étendent sur un certain domaine comme les courbes des alliages, cette caractéristique étant moins prononcée sur les courbes de congélation puisque la surfusion empêche l'échantillon d'atteindre, dès le début, la température correspondant au liquide en équilibre.

La figure 2 contient la courbe d'une congélation très lente (0,04 degré par minute avant la stabilisation), et la courbe obtenue le jour suivant, l'échantillon ayant été maintenu à quelques degrés au-dessous de la température de congélation

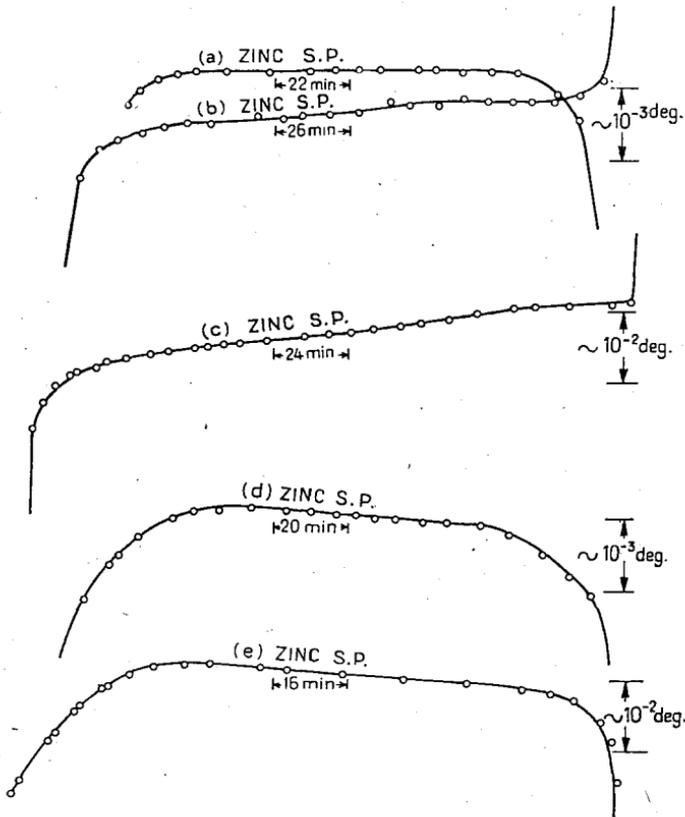


Fig. 1. — (a) Congélation rapide provoquée; (b) Fusion; (c) Fusion; (d) Congélation rapide normale; (e) Congélation rapide normale.

pendant 14 heures. La courbe de congélation présente un plateau que l'on attribue à une séparation hors d'équilibre des corps dissous, c'est-à-dire que la surface de séparation liquide-solide rejette les atomes dissous pendant la formation du noyau

solide [6-14]. La courbe de fusion révèle que l'influence de la congélation en noyau se fait encore sentir, puisque l'homogénéisation du solide pendant le recuit a été négligeable.

Pour que la séparation des impuretés se produise au point de fournir une température sensiblement constante de la surface de séparation pendant une longue durée, il apparaît nécessaire que le débit de chaleur à travers la surface de séparation soit très faible. Lorsque ce débit devient trop grand, la surface de séparation ne

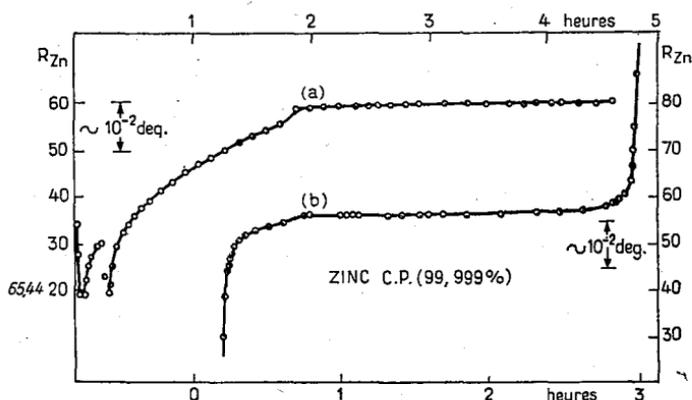


Fig. 2. — (a) Congélation très lente normale présentant un plateau (16 février 1953); (b) Fusion lente, montrant un souvenir de la congélation fortement noyautée (17 février 1953).

En ordonnées : Valeurs de R_{Zn} en « unités du pont de mesure ».

peut plus se maintenir à température constante; elle doit accepter continuellement des atomes d'impuretés en nombre croissant, et l'on obtient alors la courbe de congélation caractéristique des alliages. Même dans ce cas, cependant, le solide qui vient de se congeler n'a pas la même composition que la partie dissoute, et la formation d'un noyau et la séparation hors d'équilibre se produisent encore, mais à un degré moindre que dans les congélations lentes.

La figure 3 montre à la fois une congélation rapide provoquée et une congélation rapide normale du même échantillon de zinc C.P. Le régime du four était ajusté de façon que la vitesse de refroidissement soit la même dans les deux cas. Dans une congélation provoquée, après que la surface du manteau solide en contact

avec le liquide soit parvenue à l'équilibre thermique avec son entourage, cette surface n'est traversée que par un flux de chaleur très faible, car l'échantillon est dans un four fortement calorifugé tandis que la différence de température à travers la partie fondue, entre la surface du manteau et la surface extérieure de l'alliage, n'est que 10^{-3} degré environ. Ce faible flux de chaleur à travers la surface du manteau permet le rejet des atomes d'impuretés

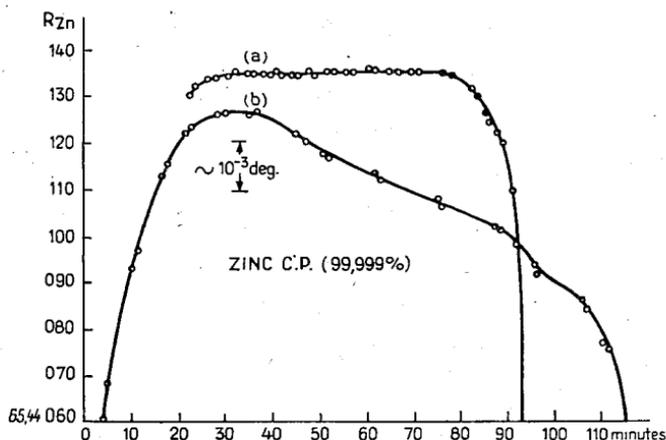


Fig. 3. — (a) Congélation rapide provoquée; (b) Congélation rapide normale.

En ordonnées : Valeurs de R_{Zn} en « unités du pont de mesure ».

comme dans le cas d'une congélation lente normale et donne le même résultat : une progression très lente de cette intersurface.

La reproductibilité des températures de plateau provoquées de trois échantillons de zinc New Jersey S. P. a été déjà décrite. Un travail préliminaire sur cinq échantillons de zinc New Jersey C. P. a montré que, bien que les températures de plateau soient reproductibles pour chaque échantillon, à environ $\pm 0,0002$ degré, les différences d'un échantillon à l'autre sont environ $0,001$ degré. Ceci est attribué à des différences sensibles dans la concentration en impuretés des divers échantillons.

Les courbes thermiques désignées par zinc C. P. ont été obtenues avec l'échantillon de Zn S.1; les courbes désignées par zinc S. P. avec l'échantillon Zn S.1. Le tableau suivant donne le résultat

de l'analyse de l'un des échantillons de zinc New Jersey C. P., ainsi que de l'échantillon S.1 de zinc New Jersey S. P. avant son utilisation dans les expériences. Ces résultats ont été aimablement fournis par Mr. E. A. Anderson, de la New Jersey Zinc Company.

Proportion d'impuretés.

C. P.	(%).	S. P. (S. 1).	(%).
Pb.....	0,000 1	Pb.....	< 0,000 2
Cd.....	0,000 05	Cd.....	< 0,000 05
Fe.....	0,000 4	Cu.....	xf
Cu.....	0,000 05	Mg.....	xf
As.....	0,000 004	Si.....	xf — vf
Sn.....	0,000 05		

(xf : raie à peine visible; vf : raie un peu plus intense).

RÉFÉRENCES.

- [1] W. HUME-ROTHERY, J. W. CHRISTIAN et W. B. PEARSON, *Metalurgical Equilibrium Diagrams* (The Institute of Physics, 1952).
- [2] T. F. RUSSEL, *J. Iron and Steel Inst.*, t. 139, 1939, p. 147.
- [3] A. WEISSBERGER, *Physical Methods of Organic Chemistry*, Part I (Interscience Publishers Inc., New York, 1945).
- [4] C. S. SMITH, *Trans. Amer. Inst. Min. Metall. Engrs.*, t. 137, 1940, p. 236.
- [5] *Thermal Analysis of Metals and Alloys*, A. S. T. M. Standards Part I, 1952, p. 1417.
- [6] E. HEYN et M. A. GROSSMANN, *Physical Metallurgy* (John Wiley and Sons Inc., New York, 1925).
- [7] B. CHALMERS, *J. Metals*, t. 6, 1954, p. 519.
- [8] W. A. TILLER, K. A. JACKSON, J. W. RUTTER et B. CHALMERS, *Acta Metall.*, t. 1, 1953, p. 428.
- [9] W. G. PFANN, *Trans. Amer. Inst. Metall. Eng.*, t. 194, 1952, p. 747; *J. Metals* (July 1952).
- [10] W. G. PFANN, *Trans. Amer. Inst. Metall. Eng.*, t. 194, 1952, p. 861; *J. Metals* (August 1952).
- [11] W. G. PFANN, *J. Metals*, t. 6, 1954, p. 294.
- [12] M. TANENBAUM, A. J. GOSS et W. G. PFANN, *J. Metals*, t. 6, 1954, p. 762.
- [13] N. W. LORD, *J. Metals*, t. 5, 1953, p. 1531.
- [14] A. B. MICHAEL et M. B. BEVER, *J. Metals*, t. 6, 1954, p. 47.
- [15] P. J. E. FORSYTH, *Rev. Metall.*, t. 51, 1954, p. 326.

ANNEXE T 22.

National Research Council (Canada).

COMPARAISON DE HUIT THERMOMETRES
A RÉSISTANCE DE PLATINE
AU POINT DU ZINC (1)

par E. H. McLAREN.

(Traduction.)

Huit thermomètres à résistance ont été utilisés pour déterminer la température calculée du point de solidification du zinc. Sept de ces thermomètres ont été construits par C. H. Meyers et étaient munis de Certificats d'étalonnage du National Bureau of Standards, Washington; le huitième thermomètre, du type Barber, était construit par Tinsley (Angleterre) et était accompagné d'un Certificat d'étalonnage du National Physical Laboratory.

Avant les mesures au point du zinc, tous les thermomètres ont été recuits à approximativement 440°C jusqu'à ce que la résistance au point triple de l'eau et pour un courant nul ($R_{(0,PT)}$) commence à augmenter légèrement avec le traitement thermique. Cette technique a été trouvée indispensable pour la préparation d'un thermomètre à résistance destiné à des travaux de la plus haute précision. Pour les thermomètres Meyers, la plus grande diminution initiale mesurée de $R_{(0,PT)}$ avec le traitement ther-

(1) A la demande du National Research Council, quelques corrections concernant le thermomètre Tinsley E1 ont été apportées au texte polycopié (Document n° 23) remis aux Membres du Comité Consultatif de Thermométrie.

mique a été de $132\mu\Omega$; la diminution correspondante pour le thermomètre Tinsley était de $961\mu\Omega$.

Les résistances « de plateau » de deux congélations provoquées ont été déterminées pour chaque thermomètre sur un de nos échantillons de zinc (échantillon n° 3). Les résistances au point triple ont été déterminées avant et après chaque congélation de zinc. La même cellule à point triple de l'eau a été utilisée tout au long de ces recherches et aucune mesure n'a été faite moins de 24 heures après qu'un nouveau manteau de glace ait été préparé, ceci dans le but de diminuer l'effet de réchauffement du nouveau manteau. Le rapport du pont de mesure et le zéro du pont ont été continuellement contrôlés et tous les résultats ont été corrigés pour être ramenés à un rapport unité et à un zéro réel. Les résistances des thermomètres au point du zinc ont été ramenées à la pression normale. Les thermomètres étaient immergés à la même profondeur dans le zinc, mais on n'a pas calculé de correction de pression hydrostatique par suite de l'incertitude d'une telle correction. A ce sujet, des expériences faites avec un thermomètre Meyers n'ont pas permis de déceler de différences mesurables de température lors d'un déplacement axial de 10 cm du thermomètre dans un bain de 20 cm. Cependant la correction hydrostatique normale a été appliquée aux valeurs de la résistance dans le point triple de l'eau. Les résultats ont été également transformés par application des corrections du pont.

Les calculs de la température pour les thermomètres Meyers ont été effectués à partir des constantes du N. B. S. déterminées pour un courant de mesure de 2 mA. Les calculs de la température pour le thermomètre Tinsley ont été effectués en utilisant les valeurs de la résistance avec un courant de 1 mA, parce que l'on a pensé qu'elles seraient ainsi conformes aux constantes du Certificat du N. P. L. Les résultats de ces mesures sont donnés dans le tableau suivant. Les dates des Certificats d'étalonnage sont indiquées dans la colonne des constantes A. Le thermomètre Tinsley est désigné par E1. On peut voir que tous les thermomètres donnent des températures de solidification du zinc avec une dispersion de 0,01 degré.

Il est possible que *des différences dans les points fixes des étalonnages initiaux et qu'un écart à la loi de variation quadratique de la résistance en fonction de la température*

Températures de congélation calculées pour l'échantillon de zinc n° 3.
(Mesures de mai-juin 1954.)

Thermomètre.	A.	B. 10 ⁷ .	R _{Zn} (°).	R _(0.PT) (°).	Température	
					calculée (en °C).	moyenne (en °C).
S175.	0,003 983 26	— 5,856 4	65,435 097	25,481 592	419,505 8	419,506
	Sept. 11/52		65,435 101	25,481 599	419,505 6	
S178.	0,003 982 83	— 5,855 8	65,400 071	25,469 648	419,505 6	419,506
	Sept. 11/52		65,400 104	25,469 649	419,505 9	
S156.	0,003 983 72	— 5,855 9	65,440 848	25,481 695	419,509 4	419,509
	Oct. 26/51		65,440 838	25,481 714	419,508 7	
S163.	0,003 982 96	— 5,854 8	65,423 376	25,478 061	419,503 4	419,503
	Déc. 16/53		65,423 337	25,478 065	419,502 8	
S163.	0,003 982 95	— 5,856 4	65,427 976	25,480 143	419,504 9	419,505
	Déc. 16/53		65,427 992	25,480 145	419,505 0	
S215.	0,003 984 92	— 5,855 8	65,458 921	25,484 068	419,499 3	419,499
	Mars 16/54		65,458 948	25,484 077	419,499 4	
S214.	0,003 984 91	— 5,856 2	65,458 742	25,483 997	419,502 7	419,502
	Mars 16/54		65,458 703	25,483 998	419,502 3	
E1.	0,003 979 85	— 5,868.	64,107 902	24,980 561	419,508 3	419,508
	Fév. 5/54		64,107 841	24,980 562	419,507 6	

(*) En « unités du pont », après application de toutes les corrections.

soient en partie responsables de cette dispersion. Nous estimons que le premier effet peut entrer en ligne de compte pour environ $\pm 0,005$ degré si l'incertitude sur A est de $\pm 2.10^{-8}$ et celle sur B de $\pm 2.10^{-11}$, auquel cas les résultats des sept thermomètres Meyers sont aussi concordants qu'il est possible de l'espérer actuellement. De même nous pensons que l'étalonnage du thermomètre Tinsley devrait donner des températures précises à $\pm 0,01$ degré.

Le thermomètre Tinsley E1 ayant un tube en pyrex de plus grand diamètre, exige un puits thermométrique plus grand dans

le bain de zinc et une congélation de contrôle a été effectuée avec le thermomètre S136 dans ce puits plus grand. La température calculée différerait au plus de 0,0002 degré de celle obtenue lorsque le thermomètre S136 était utilisé dans le puits de diamètre normal. Des mesures effectuées avec E1 pour des immersions de 15, 10 et 5 cm ont conduit, pour un courant de mesure de 1 mA, à des valeurs brutes de la résistance de 64,109 76, 64,109 67 et 64,109 31 b. u. respectivement (b. u. désignant l'unité du pont). Cette expérience montre que E1 est beaucoup plus sensible à l'immersion qu'un thermomètre Meyers.

Ces résultats sont intéressants à la lumière de la proposition russe (1954) au Comité Consultatif de Thermométrie (*cf.* Annexe T16, p. T122), qui donne pour la température de congélation du zinc $419,59^{\circ}\text{C} \pm 0,03$. Il apparaît que le désaccord entre ce résultat et les nôtres ne peut pas être dû à des impuretés dans notre zinc, car le zinc « New Jersey S. P. » a un point de fusion variant dans un intervalle de l'ordre de 0,001 degré seulement. Cependant, il semble également très improbable que le zinc russe contienne suffisamment de cuivre pour élever son point de fusion d'environ 0,1 degré, ou qu'il existe un effet isotopique différentiel marqué.

Nous sommes donc conduits à la conclusion que ces différentes températures attribuées au point de solidification du zinc reflètent les incertitudes qui affectent encore la réalisation de l'Échelle Internationale de Température au voisinage du point du soufre.

ANNEXE T 23.

National Physical Laboratory (Grande-Bretagne).

LA STABILITÉ DES THERMOMÈTRES
A RÉSISTANCE DE PLATINE
CONTENANT DE L'HÉLIUM

(Traduction.)

Le texte de l'Échelle Internationale de Température de 1948 stipule, concernant la construction du thermomètre étalon à résistance de platine, que : « Il est recommandé que le tube qui protège la bobine terminée soit rempli d'un gaz contenant un peu d'oxygène ». Au National Physical Laboratory, il est d'usage d'emplir les thermomètres avec de l'air sec à une pression d'environ 25 cm de mercure à la température ordinaire. Cette façon de faire est conforme à la recommandation citée ci-dessus. Il pourrait être avantageux cependant d'emplir le thermomètre d'un gaz inerte bon conducteur de la chaleur tel que l'hélium, puisque le retard du thermomètre et l'effet de chauffage du courant de mesure sont l'un et l'autre considérablement plus petits dans l'hélium que dans l'air. De plus, un thermomètre contenant de l'hélium est très désirable pour l'utilisation aux basses températures. La question se pose donc de savoir si, étant donné la recommandation de l'Échelle Internationale de Température, un thermomètre contenant de l'hélium pur est instable, et s'il en est ainsi, quelle est la plus petite adjonction d'oxygène nécessaire pour supprimer cette instabilité. Dans le but d'aider à trouver une réponse à ces questions, quelques expériences ont été faites concernant l'effet d'une atmosphère d'hélium sur la stabilité d'un thermomètre à résistance de platine.

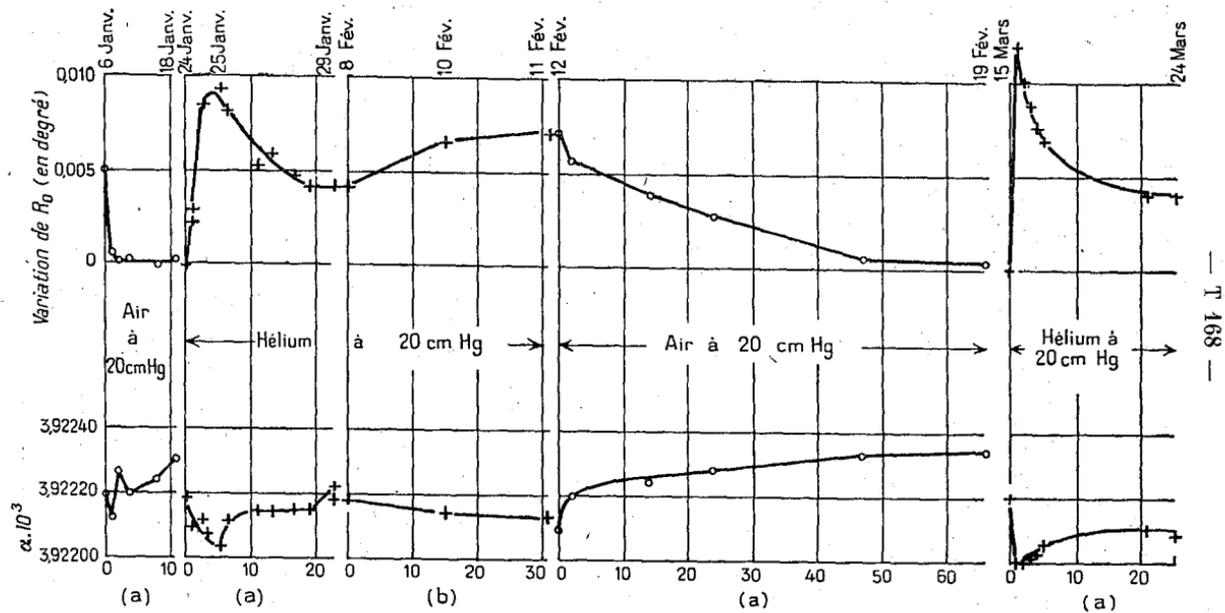
Le plan de ces expériences a été de construire d'abord un thermomètre très stable contenant de l'air, comme d'usage, puis, la stabilité étant éprouvée, de l'emplir d'hélium pur et de contrôler à nouveau la stabilité. On obtiendra de la sorte une comparaison directe du remplissage d'air et d'hélium.

La résistance du thermomètre était formée de deux spirales de fil de platine de 0,1 mm (fil de Sheffield Smelting Co) supportées par deux tiges de silice parallèles sur lesquelles les spirales étaient libres de se mouvoir. L'enveloppe extérieure était également en silice et le thermomètre pouvait ainsi être recuit dans un four à haute température. Le thermomètre a été évacué pendant deux jours à une pression de 0,00001 mm de mercure, l'enveloppe étant chauffée à 400° C pendant une partie du temps. La résistance a été chauffée électriquement 10 minutes à 800° C pendant le pompage. On a introduit de l'air sec à une pression de 25 cm de mercure. Après avoir séparé le thermomètre des pompes par scellement, il a été chauffé 15 heures à 830-860° C.

On a ensuite contrôlé la stabilité en mesurant R_0 et $\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 R_0}$ après des périodes de chauffage à 630° C, température maximum du domaine du thermomètre à résistance de platine dans l'Échelle Internationale. Les résultats obtenus sont montrés sur la figure, R_0 et α étant représentés en fonction du nombre d'heures de chauffage à 630° C.

Avec le remplissage d'air initial, la stabilité de R_0 est excellente; après une diminution qui équivaut à 0,005 degré dans la première heure, un chauffage ultérieur de 9 heures à 630° C, comportant quatre cycles 0-630-0° C, n'a pas produit de changement supérieur à $\pm 8 \cdot 10^{-7}$ en valeur relative ($\pm 0,0002$ degré). Simultanément α est resté constant dans les limites de 0,001 degré (*ce qui constitue la limite d'exactitude de la mesure*), gardant pendant cette période la valeur 0,003 922 25. Après avoir remplacé l'air par de l'hélium, on n'a pas trouvé de changement sensible de R_0 , mais la valeur de α a quelque peu baissé (0,003 922 18), quoique la différence par rapport à la valeur moyenne dans l'air corresponde seulement à 0,0017 degré.

Cependant lorsque le thermomètre a été chauffé à 630° C, R_0 a monté rapidement et α a diminué. Après chauffage prolongé, la valeur de R_0 est passée par un maximum qui se situe 0,009 degré au-dessus de la valeur dans l'air, puis a diminué à nouveau



pour donner finalement, après 20 heures à 630° C, une valeur stationnaire qui est 0,004 degré au-dessus de la valeur dans l'air. Simultanément la valeur de α est descendue à un minimum équivalent à 0,005 degré au-dessous de la valeur dans l'air, et a atteint une valeur finale stationnaire 0,002 degré plus basse que la valeur dans l'air.

Le thermomètre a été chauffé ensuite à 450° C pendant 15 heures, toujours avec son atmosphère d'hélium; il en est résulté un accroissement de R_0 équivalent à 0,0025 degré; 16 heures supplémentaires à 450° C ont provoqué une nouvelle augmentation, très petite (0,0005 degré). Pendant ce temps, α n'a pas changé de façon sensible.

L'hélium a été ensuite remplacé par de l'air sans qu'il s'ensuive un changement notable de R_0 ni de α ; par un chauffage à 630° C on obtient une baisse progressive de R_0 et une augmentation de α , et après 50 heures de chauffage, R_0 retrouve une valeur stationnaire identique à celle du premier remplissage d'air. La valeur finale de α est légèrement plus élevée (d'une quantité équivalant à environ 0,002 degré).

Un second remplissage d'hélium a donné lieu aux mêmes observations que le premier. Le maximum de R_0 montre un accroissement de 0,012 degré au lieu de 0,009 degré et la valeur stationnaire, atteinte également après 20 heures de chauffage à 630° C, est identique à celle du premier remplissage. La valeur stationnaire de α correspond à 0,0015 degré au-dessous de celle du premier remplissage d'hélium.

On peut donc conclure qu'un thermomètre empli d'hélium est stable, pourvu qu'il ait reçu un traitement thermique suffisant à haute température. Les résultats montrent que l'atmosphère d'hélium conduit à des valeurs de R_0 et de α qui sont légèrement différentes de celles que l'on obtient dans l'air. Ce fait que la valeur de R_0 se reproduise très exactement à 10^{-6} près avec deux remplissages distincts successifs d'air et d'hélium souligne qu'un équilibre stable s'établit, équilibre correspondant sans doute à l'absorption de molécules gazeuses par le métal.

La petite augmentation de R_0 observée après chauffage à 450° C, bien qu'une valeur stable ait été acquise après chauffage à 630° C, suggère qu'il pourrait exister un équilibre légèrement différent à chaque température. Cet effet est cependant très petit, aucun

changement notable de α n'a été mis en évidence et une seule observation a été faite.

Le tableau suivant résume les valeurs stationnaires finales de R_0 , de α et de l'intervalle fondamental (I. F.).

	Air.		Hélium.	
	1 ^{er} remplissage.	2 ^e remplissage.	1 ^{er} remplissage.	2 ^e remplissage.
$R_0 \dots$	14,569 20 Ω	14,569 22 Ω	14,569 43 Ω	14,569 43 Ω
$\alpha \dots \dots$	0,003 922 25	0,003 922 33	0,003 922 18	0,003 922 10
I. F. ...	5,714 40 Ω	5,714 53 Ω	5,714 39 Ω	5,714 28 Ω

(Mai 1954.)

L'EMPLOI DE COMPOSÉS ORGANIQUES
COMME
REPÈRES THERMOMÉTRIQUES SECONDAIRES

par J. TIMMERMANS.

A. INTRODUCTION. — Nous n'examinerons ici que l'usage de la température de congélation (T. C.) pour la réalisation de repères thermométriques secondaires; en effet, la détermination exacte de la température de fusion est beaucoup plus délicate, et d'autre part l'usage de la température d'ébullition nécessite la mesure exacte de la pression, ce qui reste toujours une opération délicate; enfin, la détermination exacte de la température de congélation, ou plutôt du point triple vapeur-liquide-cristal, se fait à l'aide de courbes de refroidissement qui, par application des méthodes de Glasgow et Rossini et de Wichers, nous renseignent également sur le degré de pureté des échantillons étudiés.

La réalisation de tels repères a fait l'objet de nos préoccupations et de nos recherches expérimentales, depuis un grand nombre d'années, au Bureau International des Étalons Physico-chimiques de Bruxelles; il y a une trentaine d'années déjà, nous avons contrôlé au Laboratoire Cryogène de Leiden la température de congélation d'un certain nombre de liquides organiques purs, formant une série régulière entre 0°C et la température de l'air liquide : tétrachlorure de carbone (-23°C), chlorobenzène (-45°C), chloroforme (-63°C), toluène (-95°C), sulfure de carbone (-112°C), méthyl-cyclohexane (-123°C) et isopentane (-160°C).

L'emploi de cette série de repères a permis, par une méthode de contrôle aisée, d'assurer une bonne concordance des mesures des physicochimistes dans ce domaine, mais la précision atteinte dans leur étude ne répond plus au besoin de la métrologie actuelle.

Au cours de ces dernières années, Schwab et Wichers ont étudié l'emploi de l'acide benzoïque (+ 122° C), déjà utilisé comme repère international pour l'étalonnage des appareils de mesure des chaleurs de combustion, comme point secondaire susceptible de remplacer éventuellement, dans la pratique, la détermination du point 100° C de l'échelle thermométrique; et dans la section métrologique de mon laboratoire, Mathieu a déterminé, avec la plus grande précision possible, la température de fusion et le point triple des huit corps suivants :

	T. C. (°C).
Sulfure de carbone.....	— 111,89
Acétonitrile.....	— 43,867
Tétrachlorure de carbone.....	— 22,775
Benzène.....	5,520
Nitrobenzène.....	5,725
Benzophénone.....	48,10
Naphtalène.....	80,284
Acide benzoïque.....	122,374

Enfin, dans la belle série de recherches exécutées sous la direction de Rossini pour l'American Petroleum Institute, on a déterminé également un grand nombre de températures de congélation d'hydrocarbures purs; et de nombreux laboratoires des États-Unis l'ont suivi dans cette voie, au cours de leurs déterminations du coefficient de température de la chaleur spécifique.

On s'étonnera peut-être que dans ces conditions, il reste encore très difficile de proposer l'adoption de telle ou telle de ces valeurs comme repère international; c'est pour expliquer aux non-spécialistes la difficulté d'un tel choix, que j'ai rédigé la présente Note.

B. CONDITIONS QUE DOIT REMPLIR UN BON REPÈRE THERMOMÉTRIQUE. —

a. Au point de vue chimique. — 1. Il est indispensable que le composé choisi puisse être préparé dans un état de très grande pureté; exemple : on a préparé du benzène à 99,995 mol %.

2. Il est indispensable qu'une fois purifié, à la température ordinaire, le composé choisi conserve une stabilité parfaite lorsque, au cours des expériences elles-mêmes, on le porte à une température d'une dizaine de degrés supérieure à sa température de congélation; exemple : ceci est aisé à réaliser pour la benzophénone et le naphthalène, mais Wichers et Mathieu ont constaté tous deux que la température de congélation de l'acide benzoïque s'abaisse lentement, après chaque expérience, parce qu'il y a une très légère perte d'eau, avec formation de traces d'anhydride, et que cette réaction n'est pas suffisamment réversible.

3. Il est indispensable aussi, qu'il soit possible de conserver inaltérés, en prenant toutes les précautions nécessaires, les échantillons des substances devant servir d'étalons; à ce point de vue, il y a lieu de craindre l'action oxydante de traces d'air, l'influence de l'humidité restant adsorbée à la surface des récipients, la décomposition sous l'action de la lumière, etc. On arrivera quelquefois à éliminer complètement ces causes de variation de la température de congélation, en conservant les échantillons dans des récipients en verre coloré, dans lesquels on aura fait le vide, et scellés, de façon à posséder une cellule pour la détermination du point triple. Mais il reste toujours à craindre de ce chef, une faible altération des composés hygroscopiques tels que les alcools, avides d'anhydride carbonique comme les amines, oxydables comme les aldéhydes, sensibles aux rayons lumineux comme le sulfure de carbone, les dérivés bromés et iodés, etc.; au contraire, la stabilité du naphthalène et de la benzophénone par exemple est parfaite.

4. Enfin, toujours du point de vue chimique, il est souhaitable que la définition du système chimique considéré soit univoque; les ambiguïtés résultant de l'existence de stéréoisomères, *cis* et *trans* par exemple, d'isomères dynamiques comme l'acétaldéhyde et le paraldéhyde, de formes polymorphes monotropes comme pour l'iode de méthylène (T. C., $\alpha = 5,5^{\circ}$ C, $\beta = 5,0^{\circ}$ C), pourraient conduire à des erreurs d'étalonnage.

Comme physicochimiste, je dois signaler que le soufre, dont la phase liquide présente une constitution si complexe et dépendant de tant de facteurs, notamment de la présence insoupçonnée de catalyseurs (SO_2 par exemple), ne me paraît plus répondre aux exigences de la science contemporaine.

b. Au point de vue physique. — 5. La température de congélation doit être parfaitement nette, c'est-à-dire que la présence de traces d'isomères dynamiques ne doit pas entraîner, au lieu d'un palier horizontal de congélation, un tracé légèrement oblique de la courbe de refroidissement; Smits a eu l'occasion de signaler de tels cas insoupçonnés auparavant, entre des températures d'ailleurs fort proches, dans l'étude de la trilaurine, du cyanogène et du soufre.

6. La chaleur latente de congélation doit être suffisamment élevée pour que le palier de congélation soit aussi proche de l'horizontale que possible, malgré l'influence réfrigérante du milieu extérieur; telle est la raison qui enlève une partie de leur efficacité, comme repères thermométriques, aux composés globulaires dont l'entropie de fusion est inférieure à 5, tels que le tétrachlorure de carbone.

7. A l'état fondu, il est souhaitable que les composés ne soient pas trop visqueux, sans quoi, on risque une grande surfusion et une faible vitesse de cristallisation, propriétés qui ont toutes deux pour effet de rendre plus difficile le réchauffement de la masse en voie de cristallisation jusqu'à la valeur exacte et maximum de la température de congélation et de réduire également la longueur du palier de congélation; telle est la raison qui rend l'usage de la benzophénone difficile.

8. Enfin, il est hautement souhaitable qu'avant d'accepter un repère international de cette nature, des recherches exécutées dans des laboratoires différents, faisant usage de matières premières différentes, de méthodes de purification et de critères de pureté différents, d'appareils de mesure et de méthodes de détermination de la température de congélation également différents, fournissent des résultats concordants, avec une précision supérieure à celle avec laquelle on désire définir le repère choisi; une telle concordance n'a pour ainsi dire jamais été atteinte jusqu'ici au millième de degré, et les résultats différant de 0,01 degré, obtenus pour la température de congélation du benzène, par des observateurs aussi soigneux que Rossini et Mathieu, montrent bien la nécessité de tels contrôles mutuels.

C. CONCLUSIONS. — On voudra bien reconnaître que l'ensemble des considérations précédentes montre la nécessité absolue, avant le choix des repères secondaires de l'échelle thermométrique, de

nouvelles recherches à réaliser par un accord international des spécialistes, recherches que notre Comité Consultatif devrait, me semble-t-il, encourager de tout son pouvoir.

Du point de vue pratique, il faudra naturellement tenir compte également, dans le choix de tels repères, de l'utilité primordiale que peut présenter la concordance des installations thermométriques de divers laboratoires, à 15, 20 et 25° C par exemple; de l'intérêt que présente le remplacement du point 100° C de l'échelle par un autre repère plus aisé à réaliser; et enfin de l'utilité d'une série de repères thermométriques, à peu près équidistants, à établir dans le plus large intervalle de température possible.

Une fois un tel accord obtenu, on pourrait charger un de nos grands laboratoires spécialisés, de préparer des cellules à point triple, contenant tel ou tel corps, et de les distribuer accompagnées d'un certificat de contrôle et d'une notice sur le mode d'emploi; c'est la méthode déjà suivie notamment par l'Union Internationale de Chimie, dont l'étalon thermo-chimique est distribué par le National Bureau of Standards de Washington.

Il n'y a pas lieu d'hésiter aujourd'hui à entreprendre la réalisation d'un tel programme de recherches, car il semble bien qu'un certain nombre de catégories de substances organiques présentent l'ensemble des critères chimiques et physiques, théoriques et pratiques, qui sont nécessaires; tels sont notamment beaucoup d'hydrocarbures saturés du groupe des paraffines et des polyméthylènes, ainsi que bon nombre d'hydrocarbures aromatiques, certains mono et bi-dérivés chlorés de ces hydrocarbures (le chlorure d'éthylène et le chlorobenzène par exemple), certaines cétones comme l'antraquinone, des dérivés nitrés aromatiques, quelques composés persubstitués du méthane et d'autres hydrocarbures, tels le tétrachlorure de carbone, le tétranitrométhane, l'anhydride carbonique, etc.

Enfin, je tiens à faire remarquer que les efforts considérables encore nécessaires pour réaliser un tel programme, ne peuvent manquer de fournir des résultats scientifiques de la plus haute importance en métrologie. L'existence de tels étalons, dont la constance pratiquement absolue et la reproductibilité parfaite sont des postulats de la chimie physique contemporaine, permettra la vérification répétée et directe de l'invariabilité de l'échelle thermométrique, telle que les instruments modernes les plus perfectionnés s'efforcent de la réaliser. (Mai 1954.)

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] A. R. GLASGOW jr, A. J. STREIFF et F. D. ROSSINI, *J. Research N. B. S.*, t. 35, 1945, p. 355.
A. R. GLASGOW jr, N. C. KROUSKOP et F. D. ROSSINI, *Analytic Chemistry*, t. 22, 1950, p. 1521.
- [2] M. P. MATHIEU, *Mém. Acad. Roy. Belgique*, t. XXVIII-2, 1953.
- [3] F. D. ROSSINI, K. S. PITZER, R. L. ARNETT, R. M. BRAUN et G. C. PIMENTEL, *Selected values of physical and thermodynamic properties of hydrocarbons and related compounds*, Pittsburgh 1953 (Projet n° 44 de l'American Petroleum Institute).
- [4] F. W. SCHWAB et E. WICHERS, *J. Research N. B. S.*, t. 34, 1945 p. 333.
- [5] A. SMITS, *Théorie de l'allotropie*, Gauthier-Villars, Paris, 1923.
- [6] J. TIMMERMANS, H. VAN DER HORST et H. KAMERLINGH ONNES, *Points de congélation de liquides organiques purs comme points de repères thermométriques aux basses températures* (*Comm. Phys. Lab. Leiden*, t. 157, 1922, p. 1-12; suppl. n° 51 b, 1924 et 64 c, 1928).
-

ANNEXE T 25.

Bureau International des Poids et Mesures.

PROJET DE
COMPARAISON DES ÉCHELLES
PYROMÉTRIQUES PAR ÉCHANGE
DE LAMPES A RUBAN DE TUNGSTÈNE

Le 27 juin 1953, le Bureau International des Poids et Mesures a diffusé la circulaire suivante :

.....

A la session de 1952 du Comité Consultatif de Thermométrie, M. HALL nous a informés qu'un échange de lampes à ruban de tungstène, étalons de température de brillance, entre le National Physical Laboratory et quelques autres Laboratoires, était en projet dans le but de confronter les échelles pyrométriques établies indépendamment par ces Laboratoires.

Le National Physical Laboratory nous écrit maintenant qu'il serait favorable à une extension de ces comparaisons à d'autres Laboratoires. Ces comparaisons plus étendues seraient placées sous l'égide du Comité Consultatif de Thermométrie.

Si vous avez une opinion ou des suggestions à exprimer sur ce dernier projet, il conviendrait que celles-ci fussent portées à la connaissance du Comité Consultatif de Thermométrie avant sa réunion, afin qu'il puisse en discuter utilement.

.....

Le Directeur
du Bureau International,
CH. VOLET.

Voici les réponses qui nous sont parvenues à ce jour (fin avril 1954):

NATIONAL BUREAU
OF STANDARDS.

8 juillet 1953.

.....

Le National Bureau of Standards participera avec plaisir à une comparaison de la partie supérieure de l'Échelle de température par l'étude de lampes à ruban de tungstène, ainsi que vous le suggérez dans votre lettre du 27 juin 1953. De plus, nous serons heureux de fournir des lampes du type fabriqué aux Etats-Unis.

Nous aimerions suggérer que ceci soit une partie d'une comparaison plus complète de l'Échelle de température entière, définie dans les laboratoires. Comme vous le savez, deux thermomètres à résistance ont été mis en circulation pour une intercomparaison de l'intervalle fondamental. Nous pensons qu'il serait intéressant pour tout le monde de comparer les résultats de l'étalonnage de thermomètres à résistance supplémentaires aux autres points fixes et de quelques thermocouples étalons. Ceci permettrait de connaître avec quelle précision l'Échelle Internationale de Température peut être déterminée, et fournirait vraisemblablement des données utiles pour perfectionner l'Échelle.

.....

A. V. ASTIN,
Directeur.

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE
BUNDESANSTALT.

13 août 1953.

.....

A la suite de votre lettre du 27 juin, je vous informe que je suis très heureux d'un projet de comparaisons internationales de lampes à ruban de tungstène. Pour des raisons de sécurité de transport, le mieux serait certainement que chaque Institut

national, qui aurait l'intention de prendre part à ces comparaisons, envoyât au Bureau International, si possible *par messenger*, deux lampes à ruban de tungstène. Lorsque les comparaisons de toutes les lampes seraient terminées au Bureau International, les étalons étudiés pourraient être retournés à leurs laboratoires d'origine pour y être à nouveau étalonnés. On pourrait ainsi déterminer les changements qui auraient pu survenir pendant les transports.

.....

A. SCHEIBE.

NATIONAL STANDARDS LABORATORY
(AUSTRALIE).

19 août 1953.

.....

Je suis tout à fait d'accord avec votre suggestion que les inter-comparaisons à venir entre le National Physical Laboratory et nous-mêmes puissent, par la suite, faire partie d'une intercomparaison internationale future, et que l'expérience du N. P. L. et de nous-mêmes en cette matière puisse fournir des renseignements utiles pour l'organisation d'une intercomparaison plus étendue.

.....

A. F. A. HARPER.

CHAMBRE CENTRALE DES MESURES
ET INSTRUMENTS DE MESURE
DE L'U. R. S. S.

24 août 1953.

.....

Comparaisons internationales de lampes de température.

Nous saluons les comparaisons présomptives de lampes de température et nous y prendrons part. Cependant, il nous paraît

comme tout à fait indispensable qu'il y ait une entente préliminaire sur le programme de comparaisons. L'Institut scientifique de Métrologie de l'U. R. S. S. du nom de D. I. Mendéléév est d'avis que pour les comparaisons doivent être employées les échelles de température réalisées à l'aide des pyromètres spectraux spécialement étudiés, et non les échelles réalisées dans les divers pays à l'aide des pyromètres optiques à filtres rouges et à verres absorbants. Dans ce cas une grande netteté dans la connaissance de la longueur d'onde utilisée peut être atteinte et son invariabilité peut être assurée dans une large gamme de températures mesurées.

C'est pourquoi il paraît très souhaitable de réaliser les comparaisons de lampes de température, étalonnées pour des températures de brillance dans la large gamme de longueurs d'onde de la région visible du spectre.

L'Institut scientifique de Métrologie de l'U. R. S. S. du nom de D. I. Mendéléév pourrait de son côté faire des comparaisons de lampes de température, étalonnées pour des températures de brillance dans l'intervalle de 1063 à 1800° C pour les longueurs d'onde 0,50, 0,52, 0,55, 0,60, 0,65, 0,69 μ et dans l'intervalle 1200-1800° C pour la longueur d'onde 0,48 μ .

.....

V. ALESSINE.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL
(CANADA).

3 juillet 1953.

.....

Quoique nous approuvions avec faveur l'idée de faire des intercomparaisons périodiques des Échelles de température optiques de différents laboratoires, nous ne sommes malheureusement pas, pour le moment, en état de collaborer à de telles intercomparaisons. Cependant, nous espérons pouvoir, ultérieurement, participer aux échanges de lampes étalons entre laboratoires.

.....

R. S. TURGEL.

Signalons également un échange de correspondance avec le Professeur DEAGLIO, de l'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, de Turin, d'où il résulte que, pour le moment, le Professeur DEAGLIO n'est pas en mesure de participer à une comparaison des échelles pyrométriques.

Note ajoutée en cours d'impression. — Une réponse favorable à ce projet de comparaison a été également reçue du Central Inspection Institute of Weights and Measures du Japon (voir Annexe T 7, p. T 86, § 4).

ANNEXE T 26.

Bureau International des Poids et Mesures.

CORRECTIONS
A L'ÉCHELLE DU THERMOMÈTRE
A MERCURE EN QUARTZ FONDU

Résultats préliminaires

par H. MOREAU.

Malgré le développement des thermomètres électriques, les thermomètres à mercure restent cependant d'un usage courant pour les températures moyennes en raison de leur commodité d'emploi.

Utilisés correctement, c'est-à-dire en tenant compte des déplacements réversibles et irréversibles (*dépression et ascension lente*) du « point zéro », les thermomètres à mercure permettent en effet de repérer les températures à quelques millièmes de degré dans l'intervalle 0 — 100° C.

Ces déplacements du « point zéro » sont toutefois l'une des causes principales de la désaffectation portée aux thermomètres à liquides et les recherches tendent constamment vers la fabrication de verres de moins en moins fusibles, permettant de réduire l'importance de ces déplacements. Depuis l'utilisation du cristal au siècle dernier, de grands progrès ont été réalisés dans la fabrication des verres thermométriques, sans qu'on soit parvenu à s'affranchir complètement des phénomènes d'hystérésis qu'ils

présentent. Seul le quartz fondu (silice vitreuse, verre de quartz) paraissait de nature à satisfaire cette exigence ; mais les difficultés rencontrées dans son travail n'avaient pas encore permis de l'utiliser pour la fabrication de thermomètres de précision du modèle « gradué sur tige » (par opposition aux thermomètres dits « à chemise » dont la graduation est effectuée sur une échelle auxiliaire en verre opale).

En 1937, nous avons rendu compte des premiers résultats que nous avons obtenus sur un thermomètre à mercure entièrement en quartz fondu (1). Depuis, nous avons poursuivi ces études, dont l'essentiel se trouve résumé dans les Rapports du Directeur du Bureau International présentés au Comité International des Poids et Mesures (2).

Pour ce qui concerne la stabilité, les observations qui se sont échelonnées sur 18 années ont confirmé, dans la limite de précision des thermomètres, l'absence de variation dans le temps et après traitements thermiques (-40 à 500° C environ) du « point zéro » du thermomètre en quartz fondu.

Il restait à déterminer les écarts (différence de marche) entre l'échelle du thermomètre à mercure en quartz fondu et l'échelle normale du thermomètre à hydrogène pratiquement identique, entre 0 et 100° C, à l'Echelle Internationale de Température. Une première série de mesures a pu être faite récemment dans l'intervalle $0 - 50^{\circ}$ C. Nous avons obtenu les résultats suivants que nous considérons toutefois comme *provisoires*, les mesures devant être reprises ultérieurement d'une façon plus systématique et étendues à l'intervalle $0 - 100^{\circ}$ C(3). [A titre indicatif, nous avons également porté dans la colonne (3) les corrections calculées à partir des dilatabilités du mercure et du quartz fondu (4)].

(1) *C. R. Acad. Sc.*, t. 205, 1937, p. 967.

(2) *Procès-Verbaux du C. I. P. M.*, t. XVIII, 1937, p. 36; t. XIX, 1939, p. D 30; t. XX, 1946, p. 63; t. XXI, 1948, p. 32; t. XXII, 1950, p. 46; t. XXIII-A, 1952, p. 49.

(3) Quelques thermomètres en quartz fondu que possède le B. I. P. M. sont actuellement au National Physical Laboratory de Grande-Bretagne, pour examen et détermination des corrections de différence de marche.

(4) Formules de dilatation données par F. J. HARLOW, *Phil. Mag.*, t. 7, 1929, p. 680 et 685.

Corrections (provisoires) à apporter aux indications (t) du thermomètre à mercure en quartz fondu pour les ramener à l'Échelle Internationale de Température.

t(°C.)	Corrections (en degré C.)	
	(2) (*)	(3).
0.....	0	0
10.....	+ 0,021	+ 0,024
15.....	+ 0,032	
20.....	+ 0,044	+ 0,047
25.....	+ 0,054	
30.....	+ 0,063	+ 0,068
35.....	+ 0,071	
40.....	+ 0,077	+ 0,084
45.....	+ 0,081	
50.....	+ 0,085	+ 0,094

(*) Compte tenu de la qualité du thermomètre utilisé, la précision des résultats de la colonne (2) peut être estimée à environ $\pm 0,005$ degré.

Les plus grandes difficultés que l'on rencontre dans la fabrication de thermomètres en quartz fondu du type *gradué sur tige*, résident toujours dans la réalisation de tiges capillaires suffisamment régulières. Les améliorations déjà obtenues par rapport aux premiers thermomètres construits permettent cependant d'espérer que ces difficultés seront en définitive surmontées.

Affranchis de la dépression et de l'ascension lente, ces deux inconvénients majeurs des thermomètres en verres actuels, les thermomètres à mercure en quartz fondu devraient s'imposer en thermométrie de précision.

(Juillet, 1954.)

ANNEXE T 27.

Bureau International des Poids et Mesures.

SUR L'EMPLOI DES THERMISTANCES
EN THERMOMÉTRIE DE PRÉCISION

par G. LECLERC.

Comme en bien d'autres domaines on a cherché, en thermométrie, à tirer parti des propriétés inattendues des semi-conducteurs ou *thermistances*, selon l'appellation sous laquelle ces nouveaux produits sont présentés commercialement pour les applications qui nous intéressent.

Le coefficient de température élevé de la résistance électrique des thermistances, 2 à 5% par degré au voisinage de 20° C (soit 10 fois celui des métaux), et leur résistivité importante (permettant la fabrication d'instruments peu encombrants) suggèrent dès leur origine de les utiliser dans la construction de thermomètres à résistance. On ne pouvait retenir contre leur emploi que la loi, compliquée, de variation de leur résistance en fonction de la température. Ce fut insuffisant pour retarder l'essor de la thermométrie et de la pyrométrie à thermistance, et plus particulièrement de la régulation de la température au moyen de ces nouveaux instruments.

Nous avons pensé que la thermométrie de précision pourrait peut-être, elle aussi, tirer profit des semi-conducteurs et pour cela nous avons entrepris l'étude de leurs propriétés métrologiques. Cette étude a été effectuée entre 0 et 100° C sur des instruments du type « sonde », fabriqués en France, aux Pays-Bas et aux Etats-Unis, ce type étant le mieux adapté à la mesure des températures.

Nous avons tenu tout d'abord à nous rendre compte, même grossièrement, de l'importance des bruits de courant. Notre intention étant de travailler plus tard en courant continu, nous avons fait cette étude pour une fréquence basse : 12,5 Hz, à l'aide d'un amplificateur accordé sur cette fréquence. Le bruit de fond de l'amplificateur seul étant de l'ordre de $0,15 \mu\text{V}$ (équivalent au bruit thermique d'une résistance idéale d'environ $0,6 \text{ M}\Omega$), nous n'avons jamais constaté de bruit de courant supérieur à cette valeur, même pour une thermistance de $10^5 \Omega$ parcourue par un courant de 10^{-4} A . Le bruit de courant n'est donc pas un obstacle à l'emploi des thermistances.

La résistance d'une thermistance dépend, par contre, de l'intensité du courant qui la traverse et l'importance du phénomène varie avec chaque instrument. Ainsi, tandis qu'une thermistance de $55\,000 \Omega$ diminuait de 0,58% lorsque le courant croissait de $49,5$ à $50,5 \mu\text{A}$, une autre de $7\,000 \Omega$ variait seulement, dans les mêmes conditions, de 0,004%, soit 150 fois moins. Ce grave défaut a deux causes :

1° l'effet Joule qui provoque toujours un échauffement relativement important de l'organe thermo-sensible en raison du volume réduit dans lequel l'énergie est dissipée ;

2° une variation de la résistance en fonction de la tension supportée (phénomène exploité par ailleurs), due à la nature granulaire des thermistances, qu'un frittage à haute température ne parvient pas à faire disparaître complètement.

Pour obvier à cet inconvénient il faut, ou bien n'utiliser que des courants très faibles ($5 \cdot 10^{-6} \text{ A}$), ce qui nécessite une installation délicate et coûteuse, ou bien étalonner l'instrument et l'employer dans des conditions identiques de dissipation thermique en contrôlant avec précision le courant dans la thermistance (à 1% près au moins pour $50 \cdot 10^{-6} \text{ A}$).

Comme les thermomètres à mercure, les thermistances manifestent le phénomène d'hystérésis : la résistance à une température θ_2 , mesurée immédiatement après une température θ_1 , est fonction de θ_1 . Suivant les matériaux utilisés (ou peut-être les traitements appliqués par les fabricants), la résistance à θ_2 après θ_1 est ou plus faible (la plupart du temps si $\theta_2 < \theta_1$) ou plus forte (rarement) qu'avant θ_1 . L'importance de cette hystérésis varie d'une thermistance à l'autre et aussi, ce qui est plus grave, d'une expérience à l'autre. Il n'est donc pas possible d'en tenir

compte avec précision. Ainsi, tel instrument d'une résistance d'environ $6\,770\ \Omega$ à 0°C et porté une dizaine de minutes à 100°C , verra sa résistance diminuer de $2,9\ \Omega$ (ce qui équivaudrait à une augmentation de température de $0,013\ \text{deg}$) dans un cas et seulement de $2,1\ \Omega$ (ce qui correspondrait à $0,009\ \text{deg}$) dans un autre; un autre instrument, d'une provenance différente et d'une valeur de $5\,006\ \Omega$ variera dans les mêmes conditions de $+1,2\ \Omega$ ($0,005\ \text{deg}$) une première fois, de $+0,4\ \Omega$ ($0,002\ \text{deg}$) une seconde et de $+0,8\ \Omega$ ($0,004\ \text{deg}$) une troisième fois. La résistance à θ_2 , immédiatement après θ_1 , n'est d'ailleurs pas stable et tend lentement (en plusieurs jours si $\theta_1 - \theta_2 = 100\ \text{deg}$) vers une limite qui, pour les meilleures thermistances, est à peu près toujours la même pour une même valeur de θ_2 .

Le phénomène existe évidemment pour des écarts de température faibles ($\theta_1 - \theta_2 = 20\ \text{deg}$ par exemple), mais dans ce cas il est peu important ($+0,05\ \Omega$, soit quelques dix-millièmes de degré pour le dernier instrument mentionné ci-dessus) et surtout la résistance limite est atteinte rapidement (une dizaine de minutes).

Pour vérifier la stabilité dans le temps des thermistances, des expériences sont en cours actuellement; nous les poursuivrons pendant plusieurs mois, mais d'ores et déjà il semble que lorsque les instruments sont conservés à température constante, leur stabilité soit suffisamment bonne pour éviter des étalonnages fréquents.

On admet généralement que la résistance d'une thermistance est une fonction exponentielle de sa température. Cela ne peut être accepté que pour une variation de quelques degrés. Sur un intervalle plus large une telle représentation n'est plus valable: deux instruments étalonnés à 0°C et à 100°C donnaient à 20°C des températures qui, calculées suivant une loi exponentielle, étaient respectivement trop faibles de $0,65$ et de $2,2$ degrés.

Une meilleure représentation est fournie par une fonction de la forme

$$R_T = AT^a e^{\frac{b}{T}}$$

(inspirée par la théorie de la conductibilité électrique des semi-conducteurs) dans laquelle A , a et b sont trois paramètres à déterminer expérimentalement et T la température absolue. Pour deux thermistances nous avons obtenu, en nous appuyant

sur les points 0° C, 20° C et 100° C, les équations suivantes (mises sous forme logarithmique pour les rendre plus aisément calculables) :

$$\log R_T = 20,979 - 6,8085 \log T + \frac{75,587}{T}$$

et

$$\log R_T = 6,1880 - 2,7467 \log T + \frac{1148,3}{T}.$$

Cette représentation laisse encore subsister des écarts : 0,02 deg pour l'une et 0,03 deg pour l'autre à 6° C par exemple. Il est donc préférable d'établir par points la courbe d'étalonnage de chaque instrument.

En conclusion, les thermistances ne doivent pas être employées comme thermomètres absolus mais être réservées à la détermination précise de faibles écarts de température; on exploite ainsi leur sensibilité tout en s'affranchissant de leurs défauts. Dans ce domaine elles peuvent souvent remplacer avantageusement les thermocouples, toujours délicats à utiliser.

Cependant, pour déceler quelques dix-millièmes de degré il faut prendre des précautions, travailler avec des courants de mesure très faibles, stables, toujours les mêmes.

A titre d'exemple, nous avons déterminé l'écart de température existant entre le point triple de l'eau et le point de fusion de la glace en utilisant deux thermistances d'environ 6 000 Ω , montées dans les bras opposés d'un pont de Wheatstone et parcourues par un courant de $5 \cdot 10^{-6}$ A. Quatre mesures différentes ont donné les résultats suivants :

$$+ 0,0099; \quad + 0,0098; \quad + 0,0098; \quad + 0,0100 \text{ deg C.}$$

Ajoutons que lorsqu'on travaille au voisinage d'une température fixe, il est facile d'obtenir par un montage approprié que l'un des éléments du système varie linéairement en fonction de la température. Nous avons nous-mêmes réalisé deux dispositifs.

1° *Dipôle résistance-thermistance en parallèle.* — Soit $R_T = A \exp\left(\frac{b}{T}\right)$ la valeur de la thermistance à la température T voisine de T_0 . Si l'on met en parallèle avec elle une résistance fixe

$$\rho = R_{T_0} \frac{b - 2T_0}{b + 2T_0},$$

la résistance résultante Z est telle que :

$$Z_T - Z_{T_0} = - \frac{Z_{T_0} \rho}{\rho + R_{T_0}} \frac{b}{T_0^2} \theta \left[1 - \frac{b^2}{12 T_0^4} \theta^2 \right],$$

où $\theta = T - T_0$. On voit que la variation est linéaire tant que le terme correctif $\frac{b^2 \theta^2}{12 T_0^4}$ est négligeable.

2° Pont de Wheatstone où le courant dans la branche galvanométrique varie linéairement avec $\theta = T - T_0$. — Le

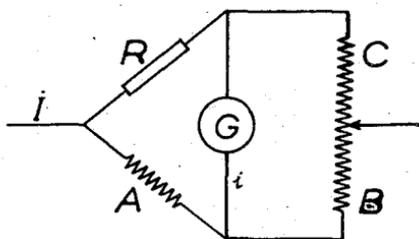


Fig. 1

montage est celui de la figure où R représente la thermistance. On obtient la linéarité cherchée en donnant à A la valeur :

$$A = R_{T_0} \frac{b - 2 T_0}{b + 2 T_0} - \frac{g(B + C)}{g + B + C}.$$

Si l'on veut, d'autre part, que le courant i soit nul pour $T = T_0$, il suffit d'obtenir en même temps $R_{T_0} = \frac{AC}{B}$; cette dernière opération ne détruit pas la linéarité si l'on s'astreint à conserver constante la somme $B + C$, ce qui est très facile.

Dans ces conditions on trouve que

$$i = - I \frac{B}{B + C + g} \frac{b + 2 T_0}{2 T_0^2} \theta \left[1 - \frac{b^2}{12 T_0^4} \theta^2 \right].$$

Si I est constant, i est directement proportionnel à θ avec un terme correctif qui est le même que dans le cas du montage précédent. Par exemple, pour $\theta = T - T_0 = 2$ deg, $b = 2000^\circ \text{K}$ et $T_0 = 300^\circ \text{K}$, la linéarité est réalisée à environ $16 \cdot 10^{-5}$ près, ainsi que nous avons pu le vérifier expérimentalement.

(7 juin 1954.)

ANNEXE T 28.

BIBLIOGRAPHIE RELATIVE
A L'ECHELLE INTERNATIONALE DE TEMPÉRATURE (1)

National Bureau of Standards.

- R. J. CORRUCCINI, Differences between the International Temperature Scales of 1948 and 1927, *J. Research NBS*, t. 43, 1949, p. 133, R. P. 2014.
- H. F. SIMSON, The present status of temperature scales, *Science*, t. 116, 1952, p. 339.
- R. E. WILSON, Standards of temperature, *Physics Today*, t. 6, 1953, p. 10 et *American Scientist*, t. 41, 1953, p. 271.

National Physical Laboratory.

- C. R. BARBER, Factors affecting the reproducibility of brightness of tungsten strip lamps for pyrometer standardization, *J. Sc. Instr.*, t. 23, 1946, p. 238.
- J. A. HALL et C. R. BARBER, The International Temperature Scale 1948 revision, *Brit. J. Appl. Phys.*, t. 1, 1950, p. 81.
- C. R. BARBER, Platinum resistance thermometers of small dimensions, *J. Sc. Instr.*, t. 27, 1950, p. 47.
- C. R. BARBER, R. HANDLEY et E. F. G. HERRINGTON, The preparation and use of cells for the realization of the triple point of water, *Brit. J. Appl. Phys.*, t. 5, 1954, p. 41.

(1) Suite de la bibliographie publiée dans les *Procès-Verbaux du C. I. P. M.* 1948, p. T 143 et 1950, p. 143.

National Research Council.

- R. M. LELACHEUR, A low range decade for resistance thermometer bridges, *Rev. Sc. Instr.*, t. 23, 1952, p. 383.
- E. H. McLAREN, Reproducibility of the freezing temperature of high purity zinc, *J. Appl. Phys.*, t. 25, 1954, p. 808.

Institut de Métrologie de l'U.R.S.S.

- B. I. PILIPTCHOUK, Les erreurs d'étalonnage du thermomètre à résistance de platine, *Travaux de l'I. M.*, fasc. 4 (64), 1948, p. 3-49.

On établit plusieurs formules permettant d'étudier la question de la distribution des erreurs qui se manifestent lors de l'étalonnage du thermomètre à résistance de platine aux points fixes. L'auteur propose les « fonctions d'influence » qui sont largement employées pour discuter les résultats des mesures faites à l'aide des thermomètres à résistance, des thermocouples, des lampes pyrométriques et des lampes de température.

- B. I. PILIPTCHOUK, La réalisation du point de solidification du mercure, *Travaux de l'I. M.*, fasc. 4 (64), 1948, p. 57-65.

On décrit un appareil pour la réalisation du point de solidification du mercure. L'auteur détermine un critère définissant l'étendue de la surface de solidification de différents échantillons, pour la même vitesse de refroidissement avant le commencement de la solidification. On cite les résultats de déterminations faites avec deux thermomètres à résistance de platine.

- B. I. PILIPTCHOUK, Contrôle de la pureté de la glace, *Travaux de l'I. M.*, fasc. 4 (64), 1948, p. 50-56.

On compare quelques données, prises dans la littérature, sur la précision de reproduction du point de fusion de la glace. D'après les résultats de déterminations faites avec des thermomètres à résistance de platine, et s'étendant sur plusieurs années, on montre que les résistances au point zéro réalisé avec de la glace commerciale, varient en fonction de la présence de petites quantités d'impuretés.

A. N. GORDOV, E. A. LAPINA et T. G. DIOMIDOWA, La reproduction de l'Échelle Internationale de Température au-dessus de 1063°, *Travaux de l'I. M.*, fasc. 3 (63), 1949, p. 42-65

On donne le matériel numérique de la graduation des lampes pyrométriques du pyromètre optique monochromatique étalon, d'après le corps noir à la température de solidification de l'or fin, avec extrapolation ultérieure par disques à secteur.

A. N. GORDOV, Quelques propriétés des lampes de température, *Travaux de l'I. M.*, fasc. 3 (63), 1949, p. 66-104.

Étude théorique de la distribution de la température le long du ruban incandescent de la lampe de température. Les conclusions obtenues ont été vérifiées expérimentalement. On donne des recommandations concernant la position de l'index par rapport au point visé du ruban.

B. I. PILIPTCHOUK, Calcul de la température d'après les indications du thermomètre à résistance de platine, *Zawodskaja Laboratoria*, t. 14 (3), 1949, p. 631-632.

On indique un procédé commode d'approximations successives lors de l'utilisation de la notion de température et l'on donne l'expression exacte de la température pour l'intervalle fondamental 0-100° C.

B. I. PILIPTCHOUK, Calcul de la température d'après les indications du thermocouple platine-platine rhodié, *Zawodskaja Laboratoria*, t. 13 (4), 1949, p. 492-494.

On indique une transformation de la formule du thermocouple platine-platine rhodié qui permet d'utiliser, pour le calcul de la température, des procédés analogues à ceux qu'on emploie pour le calcul de la température d'après les indications du thermomètre à résistance de platine.

B. I. PILIPTCHOUK, Formules d'interpolation du thermomètre à résistance de platine et du thermocouple platine-platine rhodié, *J. Tech. Physik*, t. 19 (6), 1949, p. 667-672.

Résultats de l'analyse des formules d'interpolation établies par le « Règlement de l'Échelle Internationale de Température de 1927 » pour le thermomètre à résistance de platine et le thermocouple platine-platine rhodié. Le résultat le plus important est la

conclusion que, pour les thermomètres à résistance, il faut établir des tableaux des différences de résistance en fonction de la température. Cette conclusion a été par la suite confirmée par plusieurs auteurs en U. R. S. S. et à l'étranger.

E. A. LAPINA, Reproduction de l'Échelle Internationale de Température jusqu'à 4 000° C, *Travaux de l'I. M.*, fasc. 9 (69), 1950, p. 87-101.

On expose les résultats d'un travail concernant l'extension de l'échelle des hautes températures jusqu'à 4000° C, à l'aide d'un verre absorbant PS-2 préalablement étudié.

A. N. GORDOV, Précision de la reproduction de l'échelle thermodynamique des températures au-dessus de 1063° C, *Travaux de l'I. M.*, fasc. 9 (69), 1950, p. 5-86.

Analyse des sources d'erreurs qui se manifestent dans la reproduction de l'échelle des températures à l'aide du pyromètre optique. Partant de l'incertitude des valeurs de la température de solidification de l'or et de la constante de radiation C_2 , on donne les valeurs des erreurs de reproduction de l'échelle thermodynamique des températures jusqu'à 4 000° C.

T. M. BRODOWITCH, Le rôle de l'inertie des instruments de mesure de la température lors de leur étalonnage, *Travaux de l'I. M.*, fasc. 9 (69), 1950, p. 102-111.

Étude théorique de la relation entre l'erreur due à l'inertie thermique du thermorécepteur lors de son étalonnage, et la durée du palier de solidification du métal déterminée par la quantité de la prise d'essai et les propriétés physiques du métal.

V. P. PROSTIAKOV, Méthode de détermination du coefficient de dilatation apparente du mercure dans une enveloppe de verre, *Travaux de l'I. M.*, fasc. 18 (78), 1952, p. 110-127.

L'auteur a employé sa méthode pour des thermomètres à mercure fabriqués avec du verre de la norme d'État 1224-41. Il donne le tableau des corrections jusqu'à 300° C de l'échelle des thermomètres à mercure à division équidistante, et un tableau de la valeur de la graduation des thermomètres à remplissage variable jusqu'à 155° C.

V. P. PROSTIAKOV, La pression intérieure dans les thermomètres à mercure à enveloppe de verre remplis de gaz; son influence sur les indications du thermomètre, *Travaux de l'I. M.*, fasc. 18 (78), 1952, p. 96-109.

L'auteur étudie en détail l'influence de la pression intérieure sur les indications des thermomètres à mercure. Il en déduit des formules pour tenir compte de la correction de pression intérieure. On indique des procédés pour diminuer les coefficients de pression intérieure et extérieure.

B. I. PILITCHOUK, L'Échelle de Température de D. I. Mendéléév, *C. R. Acad. Sc. U. R. S. S.*, t. 95 (1), 1954, p. 75-76.

Se basant sur une série de travaux publiés par D. I. Mendéléév, l'auteur montre que c'est à ce grand chimiste russe qu'appartient la priorité de la proposition de l'établissement d'une échelle de température à l'aide d'un seul point fixe réalisable (1874). Dans la littérature étrangère, cette proposition est attribuée à Giauque (1939).

Divers.

M.-P. MATHIEU, Recherches expérimentales sur quelques étalons métrologiques, *Mém. Acad. Roy. Belgique*, t. XXVIII-2, 1953, n° 1639.

B. E. BLAISDELL, The physical properties of fluid interfaces of large radius of curvature.

I. Integration of Laplace's equation for the equilibrium meridian of a fluid drop of axial symmetry in a gravitational field. Numerical integration and tables for sessile drops of moderately large size, *J. Math. and Phys.*, t. 19, 1940, p. 186.

II. Numerical tables for capillary depressions and meniscus volumes in moderately large tubes, *ibid.*, p. 217.

III. Integration of Laplace's equation for the equilibrium meridian of a fluid drop of axial symmetry in a gravitational field. Approximate analytic integration for sessile drops of large size, *ibid.*, p. 228.

J. A. BEATTIE, D. D. JACOBUS, J. M. GAINES Jr., M. BENEDICT et B. E. BLAISDELL, An experimental study of the absolute tem-

- perature scale. VI. The gas thermometer assembly and the experimental method, *Proc. Amer. Acad. Arts Sc.*, t. 74, 1941, p. 327.
- J. A. BEATTIE, M. BENEDICT et J. KAYE, An experimental study of the absolute temperature scale. VII. The theory of the correction of the observations on gas thermometers for the imperfections of the apparatus and of the thermometric fluid, *Proc. Amer. Acad. Arts Sc.*, t. 74, 1941, p. 343.
- J. A. BEATTIE, B. E. BLAISDELL, J. KAYE, H. T. GERRY et C. A. JOHNSON, An experimental study of the absolute temperature scale. VIII. The thermal expansion and compressibility of vitreous silica and the thermal dilatation of mercury, *Proc. Amer. Acad. Arts Sc.*, t. 74, 1941, p. 371.
- J. A. BEATTIE, B. E. BLAISDELL et J. KAYE, An experimental study of the absolute temperature scale. IX. The determination of the capillary depression and meniscus volume of mercury in a manometer, *Proc. Amer. Acad. Arts Sc.*, t. 74, 1941, p. 389.
- J. A. BEATTIE, M. BENEDICT, B. E. BLAISDELL et J. KAYE, An experimental study of the absolute temperature scale. X. Comparison of the scale of the platinum resistance thermometer with the scale of the nitrogen gas thermometer from 0° to 444°·6. Reduction of the observations, *Proc. Amer. Acad. Arts Sc.*, t. 77, 1949, p. 255.
- G. W. MOESSEN et J. G. ASTON, Normal boiling points of oxygen on the thermodynamic scale, *J. Chem. Phys.*, t. 21, 1953, p. 948.
-

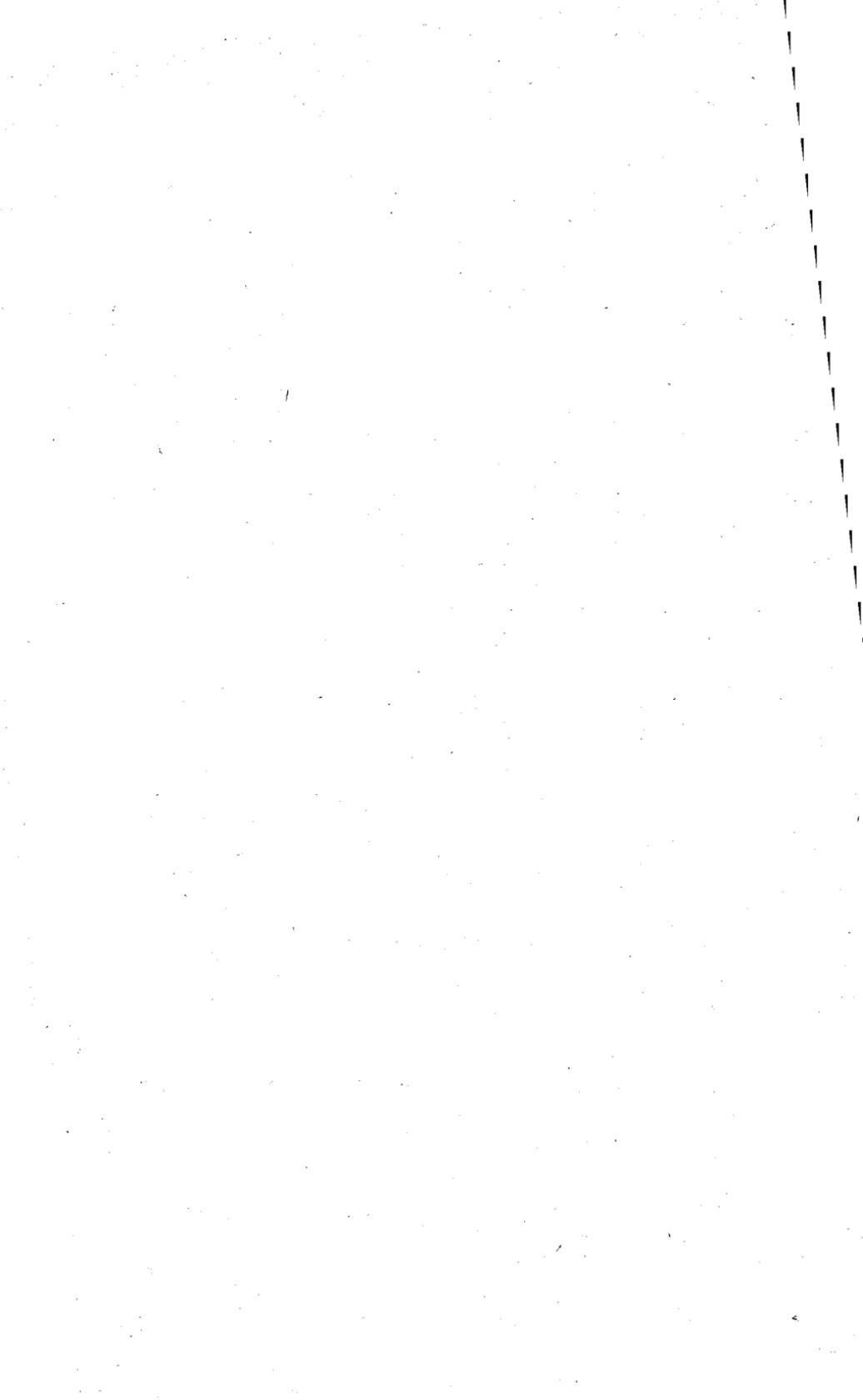


TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
Liste des Membres du Comité International.....	1
Liste du personnel du Bureau.....	3

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES DE L'ANNÉE 1954.

Ordre du jour de la session.....	4
Procès-verbal de la première séance, mardi 28 septembre 1954.	5
Ouverture de la session	5
<i>Hommage</i> (rendu à la mémoire de Z. Rauszer et E. Johansen)...	5
<i>Démission</i> (de Mr Kouznetsov).....	5
Excuses de Mr Statescu, empêché, et de MM. Danjon et Roš, retenus momentanément	6
RAPPORT DU SECRÉTAIRE DU COMITÉ POUR LA PÉRIODE COMPRISE ENTRE LE 1^{er} SEPTEMBRE 1952 ET LE 31 AOÛT 1954.....	7
<i>Décès.</i> — (Z. Rauszer et E. Johansen, Membres du Comité; L. Maudet, Adjoint honoraire du Bureau International).....	7
<i>Démission.</i> — (Mr Kouznetsov).....	7
<i>Élections.</i> — (MM. de Boer, Nussberger, Otero, Bourdoun, élus Membres du Comité. Nomination de Mr de Boer comme Président du Comité Consultatif de Thermométrie).....	8
<i>Comités Consultatifs.</i> — (Sessions tenues par le Comité Consul- tatif pour la Définition du Mètre et le Comité Consultatif de Thermométrie).....	8
<i>Étalon du Radium.</i> — (Garde confiée au Directeur du Labora- toire Curie, à Paris).....	8
<i>Statut du personnel.</i> — (Allocations familiales. — Exonération d'impôts. Majoration du salaire des étrangers).....	9
<i>Versements des États.</i> — (Versement des contributions arriérées de l'Allemagne de l'Est. — Retour du Brésil dans la Convention du Mètre et adhésion de la République Dominicaine).....	9

	Pages.
<i>Tableau des versements des États</i>	10
<i>Don unique.</i> — (Liste des versements effectués).....	12
<i>Indications financières.</i> — <i>Dotation.</i> — (Actif du Bureau. — Proposition d'augmentation de la dotation).....	13
Présentation des procès-verbaux du dépouillement des votes ayant eu lieu par correspondance.....	14
RAPPORT DU DIRECTEUR SUR L'ACTIVITÉ ET LA GESTION DU BUREAU ENTRE LE 1^{er} SEPTEMBRE 1952 ET LE 31 AOÛT 1954	15
I. Personnel. — Engagement de J. Bonhoure et C. Garreau. — Stage de K. Yoshié. — Diplôme d'Ingénieur-physicien du C. N. A. M. obtenu par G. Leclerc. — Décès de L. Maudet....	15
II. Bâtiments. — Nouvel aménagement de l'aile nord du grand pavillon. — Transformations effectuées dans l'appartement du Directeur. — Travaux exécutés dans quelques bureaux. — Installation d'un système d'assèchement des murs par électro-osmose. — Amélioration de l'aménagement du logement situé au rez-de-chaussée du petit pavillon. — Renforcement du chauffage dans divers logements et dans l'atelier de mécanique. — Installation sanitaire dans les logements des gardiens. — Travaux de maçonnerie et de peinture dans certaines salles de l'observatoire. — Suppression du petit musée, transformé en bureaux. — Abandon provisoire du projet de surélévation de l'avant-corps de l'ancien observatoire. — Installation d'eau potable dans les laboratoires. — Construction d'une cabine haute tension, avec poste de transformation. — Pose d'un nouveau câble téléphonique.....	16
III. Machines et instruments	20
Comparateurs.....	20
Base géodésique.....	20
Coulisse et abouts tracés.....	21
Masses.....	21
Récepteur-comparateur. — Baromètre.....	23
Interférométrie (Lampes à mercure 198, krypton 84 et 86).....	23
IV. Travaux	24
Mètres prototypes.....	24
Longueurs diverses (Règles. — Étalons à bouts. — Règles et fils géodésiques).....	26
Masses et densités (Kilogrammes prototypes et étalons. — Comparaisons internationales de la densité d'un cylindre. — Masses diverses. — Projet de détermination de la densité relative du mercure et de l'eau).....	30
Thermométrie (Thermomètres en quartz fondu. — Études courantes. — Thermistances).....	33
Manométrie.....	35

TABLE DES MATIÈRES.

III

	Pages.
Gravité.....	35
Électricité (Comparaisons internationales. — Étude des étalons sédentaires. — Études pour l'extérieur. — Amplificateur de déviations et enregistreur à servomécanisme).....	35
Photométrie (Lampes étalons. — Étalonnages photométriques. — Intercomparaison d'étalons de flux entre le N. B. S., le N. P. L. et le B. I. P. M. — Projet de comparaisons inter- nationales d'étalons de température de couleur. — Photo- métrie hétérochrome de précision).....	38
Interférométrie (Comparaisons de longueurs d'onde. — Mesure du quartz de 100 mm. — Mesure de deux étalons à bouts sphériques d'un mètre en silice. — Comparaison interna- tionale de calibres. — Étude théorique de la formation des franges d'interférence).....	41
Métallisation par évaporation.....	46
Divers.....	46
Voyages.....	46
Stages au Bureau.....	47
Publications du Bureau.....	47
Publications extérieures.....	48
Liste des Certificats, Notes d'étude et Rapport.....	50
V. <i>Comptes</i>	57
I. Fonds disponibles. — II. Fonds de réserve. — III. Caisse de retraites. — IV. Don unique.....	57
Bilan (Actif. — Titres des Comptes I, II et III).....	58
Mouvement des valeurs.....	60
Tableaux des recettes et dépenses.....	61
Constitution des Commissions Administrative (ex-Commis- sion des Finances) et des Travaux.....	63
Procès-verbal de la deuxième séance, vendredi 1^{er} octobre 1954.	64
Excuses de Mr Pérard, retenu loin de Paris.....	65
Télégramme adressé à Mr Statescu.....	65
<i>Premier Rapport de la Commission Administrative</i> (Situation de la Caisse de Retraites. — Approbation des comptes. — Exoné- ration d'impôts sur les traitements pour les fonctionnaires étran- gers; remboursement des mêmes impôts aux fonctionnaires français. — Attribution d'une majoration temporaire de traitement au personnel scientifique étranger).....	65
<i>Deuxième Rapport de la Commission Administrative</i> (Allo- cations familiales. — Attribution d'une allocation de logement. — Rejet d'une demande d'allocation pendant la durée du service militaire. — Examen de la situation financière et du Règlement de la Caisse de Retraites. — Échange de vues sur l'affectation des logements du Bureau).....	66
Constitution de la Commission d'étude du Règlement de la Caisse de Retraites.....	68

	Pages.
<i>Premier Rapport de la Commission des Travaux</i> (Projet de retraçage des Mètres prototypes. — Étalons de masse. — Dilatmètre installé à la base géodésique. — Discussion sur les résultats de la comparaison internationale des calibres à bouts plans. — Comparsateur photoélectrique. — Mesure absolue de <i>g</i> . — Travaux interférométriques. — Études sur les thermistances)...	69
Échange de vues sur le projet de révision de la Convention du Mètre	72
Procès-verbal de la troisième séance, lundi 4 octobre 1954...	76
Télégrammes aux Membres honoraires. Droit de ces derniers d'assister aux séances.....	76
Considérations sur le choix des futurs Membres du Comité...	77
Reprise de la discussion sur le projet de révision de la Convention du Mètre. Calcul de la contribution d'entrée.....	77
<i>Deuxième Rapport de la Commission des Travaux</i> (Mesures de photométrie hétérochrome. — Projet de comparaisons internationales de lampes étalons de température de couleur. — Date des prochaines comparaisons internationales photométriques. — Résultats obtenus avec les thermomètres à mercure en silice fondue. — Projets de réalisation de l'Échelle Internationale de Température avec des thermomètres à résistance et d'un manobaromètre. — Prochaine comparaison internationale des étalons électriques. — Discussion des propositions du Comité Consultatif de Thermométrie de 1954 : Définition de l'échelle thermodynamique. Tableau des échelles internationale et thermodynamique. Valeurs de la gravité).....	79
<i>Troisième Rapport de la Commission des Travaux</i> (Définition de l'atmosphère normale. — Examen du Rapport du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre. — Question des symboles du radian et du carat).....	83
Conclusion des discussions intéressant le tableau des échelles de température, les valeurs de la gravité, la définition du mètre.....	85
Échange de vues sur les logements du Pavillon de Breteuil. — Suppression de l'indemnité de logement.....	86
Procès-verbal de la quatrième séance, samedi 9 octobre 1954..	88
Abstention du Comité dans le choix des symboles des unités..	88
Constitution de la Commission de révision de la Convention du Mètre	89
Échange de vues sur le changement de définition de l'unité de longueur.....	89
Statut du personnel (Relèvement de certains traitements; seinde-ment de la classe des secrétaires-dactylographes; suppression des indemnités de logement; suppression des classes pour les Adjointes et Assistants)	92

TABLE DES MATIÈRES.

V

	Pages.
Procès-verbal de la cinquième séance, lundi 11 octobre 1954..	94
Définition du mètre : projet de Résolution.....	94
Retraçage des prototypes nationaux : projet de Résolution...	96
Renonciation de M. Terrien d'occuper le petit pavillon.....	96
Traitement du Directeur.....	96
Exposé sur la définition de l'unité de temps.....	97
Résultats obtenus par l'UNESCO en vue de faciliter le passage en douane des instruments scientifiques délicats...	98
Procès-verbal de la sixième séance, mercredi 13 octobre 1954.	99
Échange de vues sur la définition de l'atmosphère normale..	99
Définition de l'échelle thermodynamique : projet de Résolution.....	100
Unité de temps : projet de Résolution.....	100
Système pratique d'unités de mesure. Discussion sur le choix de l'ampère.....	101
Procès-verbal de la septième séance, mercredi 13 octobre 1954.	105
Définition de l'atmosphère normale : projet de Résolution...	105
Système pratique d'unités de mesure : suite de la discussion. Projet de Résolution adopté.....	106
Proposition de candidatures pour le renouvellement du Comité International.....	108
Examen de propositions du Portugal et de l'Espagne relatives à la diffusion du Système Métrique dans le monde et à l'organisation d'un échange de publications métrologiques officielles.....	108
Procès-verbal de la huitième séance, jeudi 14 octobre 1954...	110
Reconstitution du bureau du Comité (Élection de Mr Danjon comme Président. — Hommage rendu à Mr Sears. — Élection de Mr Vieweg comme Vice-Président. — Confirmation de Mr Cassinis dans les fonctions de Secrétaire).....	110
Nomination de MM. Sears, Crittenden et Roš comme Membres honoraires du Comité.....	112
Constitution d'une Commission pour l'étude du Système pratique d'unités.....	113
Présidence des quatre Comités Consultatifs.....	114
Adoption du budget pour 1955 et 1956.....	114
Lieu de réunion des futures Conférences Générales. Suggestions diverses.....	117
Clôture de la session.....	118
Annexes des Procès-Verbaux des séances de 1954 :	
1. <i>Note sur le changement de définition de l'unité de temps</i> ; par A. Danjon.....	119

	Pages.
INSTITUT SCIENTIFIQUE DE MÉTROLOGIE DU NOM DE D. I. MEN- DÉLÉEV (U. R. S. S.) :	
2. <i>Détermination de la longueur d'onde des radiations du cadmium 114 dans la région visible du spectre; par N. R. Batarouchkova, A. I. Kartachev et M. F. Romanova.</i>	121
NATIONAL RESEARCH COUNCIL (Canada) :	
3. <i>Mesure absolue de l'accélération due à la pesanteur..</i>	130
4. <i>Quelques résultats des mesures de l'effet de la pression sur la longueur d'onde des raies du mercure 198; par K. M. Baird.....</i>	132
5. <i>L'état actuel des travaux sur l'établissement d'un étalon primaire d'inductance mutuelle et son utilisation pour une détermination absolue de l'unité de résistance électrique; par M. Romanowski.....</i>	134
BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES :	
6. <i>Rapport sur les comparaisons des étalons nationaux de force électromotrice effectuées en 1953; par M. Gautier..</i>	138
7. <i>Rapport sur les comparaisons des étalons nationaux de résistance électrique effectuées en 1953; par M. Gautier.</i>	147
8. <i>Note sur le groupe d'étalons servant à conserver l'unité de résistance électrique au Bureau International; par M. Gautier.....</i>	156
9. <i>Mesure interférentielle de deux étalons à bouts d'un mètre appartenant à l'Institut Géodésique de Finlande; par J. Terrien.....</i>	160
10. <i>Le nouveau dilatomètre pour fils géodésiques du Bureau International; par A. Bonhoure.....</i>	167
Notices nécrologiques :	
Edvard Sextus Johansen; <i>par T. Bjerge.....</i>	179
Zdzisław Erasme Rauszer; <i>par J. Jasnorzewski.....</i>	181

COMITÉ CONSULTATIF POUR LA DÉFINITION DU MÈTRE

Session de 1953.

Liste des Membres.....	M 3
Ordre du Jour.....	5
Liste des Documents remis aux Membres du Comité.....	7

TABLE DES MATIÈRES.

VII

	Pages.
Procès-verbal de la première séance, mardi 15 septembre 1953.	M 11
Souhaits de bienvenue.....	11
Désignation du Rapporteur et du Secrétaire.....	11
Exposé de M. Volet sur la conservation de l'unité de longueur.....	12
Échange de vues sur les répercussions qu'aurait une nouvelle définition du mètre basée sur une longueur d'onde lumineuse.....	16
Possibilité d'obtention de lampes au Cd isotopique.....	19
Accord sur le choix d'une longueur d'onde dans le vide et discussion sur la spécification de cette longueur d'onde.....	19
Procès-verbal de la deuxième séance, jeudi 17 septembre 1953.....	21
Excuses de MM. Tardi et Väisälä.....	21
Examen de la Proposition I reconnaissant l'intérêt d'une définition du mètre basée sur une longueur d'onde.....	22
Examen de la Proposition II relative aux conditions de définition de la future longueur d'onde lumineuse.....	23
Examen de la Proposition III sur la nécessité de conserver la valeur actuelle de la longueur d'onde de la radiation rouge du cadmium.....	23
Procès-verbal de la troisième séance, jeudi 17 septembre 1953.....	25
Suite de la discussion de la Proposition III.....	25
Étude de la Proposition IV relative au choix d'une radiation étalon.....	27
Étude de la Proposition V relative au rôle et à l'équipement du Bureau International dans le cas d'une définition du mètre par une longueur d'onde.....	28
Étude de la Proposition VI relative aux modalités et à la date d'adoption de la définition du mètre par une longueur d'onde.....	29
Clôture de la session.....	31
Premier Rapport du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre au Comité International des Poids et Mesures; par E. Perucca.....	33
Annexes des Procès-Verbaux du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre.....	49
M 1. <i>Rapport sur la définition du mètre; par R. H. Field.....</i>	49
M 2. <i>Lettre de J. Cabannes.....</i>	54

	Pagos.
M 3. <i>Extrait d'une lettre de B. Edlén</i>	M 56
M 4. <i>Remarques sur le programme de travail du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre; par J. Stulla-Götz</i>	57
M 5. <i>Notes présentées par Y. Väisälä</i>	60
M 6. PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT (Allemagne). — <i>Considérations sur le changement de la définition du mètre; par E. Engelhard</i>	64
M 7. NATIONAL RESEARCH COUNCIL (Canada). — <i>Considérations sur la tâche du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre; par K. M. Baird</i>	73
M 8. NATIONAL RESEARCH COUNCIL (Canada). — <i>Propositions soumises à l'attention du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre; par K. M. Baird</i>	76
M 9. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS (États-Unis d'Amérique). — <i>Questions suggérées pour être inscrites à l'Ordre du Jour du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre</i>	79
M 10. NATIONAL PHYSICAL LABORATORY (Grande-Bretagne). — <i>Questions suggérées pour la discussion par le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre</i>	81
M 11. CENTRAL INSPECTION INSTITUTE OF WEIGHTS AND MEASURES (Japon). — <i>Sur la définition du mètre par une longueur d'onde lumineuse</i>	84
M 12. CHAMBRE CENTRALE DES MESURES ET INSTRUMENTS DE MESURE (U. R. S. S.). — <i>Propositions soumises au Comité Consultatif pour la Définition du Mètre</i>	86
M 13. CHAMBRE CENTRALE DES MESURES ET INSTRUMENTS DE MESURE (U. R. S. S.). — <i>De la possibilité d'utiliser la radiation des isotopes stables pairs du cadmium pour la représentation de l'unité de longueur; par N. R. Batarchoukova, A. I. Kartachev et M. F. Romanova</i>	88
M 14. BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. — <i>Étude d'un étalon en quartz de 100 mm, témoin de l'unité métrique internationale; par J. Terrien</i>	95
M 15. BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. — <i>Principe d'une méthode pour comparer un mètre à traits à une longueur d'onde; par J. Terrien</i> ...	97
M 16. BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. — <i>Résultats des intercomparaisons des Mètres nos 13, 13 C, 19, 26 et T 4, en 1939-1944 et en 1953; par Ch. Volet</i>	100

COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE

Session de 1954.

	Pages.
Liste des Membres.....	T 3
Ordre du Jour.....	7
Procès-verbal de la première séance, lundi 12 juillet 1954.	9
Souhaits de bienvenue.....	9
Annonce de l'élection de M. de Boer comme Président....	10
Démission de M. Swietoslowski. M. Yoshié est invité, en l'absence de délégué du Laboratoire japonais. Excuses de M. Boutry.....	10
Désignation du Rapporteur et du Secrétaire.....	10
Discussion sur la température T_0 du point de fusion de la glace dans l'échelle Kelvin (Distinction entre les expressions <i>point de glace</i> et <i>point de fusion de la glace</i> . — Résultats obtenus dans différents Laboratoires. — Accord sur la valeur $T_0 = 273,15^\circ \text{K}$).	10
Définition de l'échelle thermodynamique à un point fixe (Valeur adoptée pour la température du point triple de l'eau : $T_{tr} = 273,16^\circ \text{K}$).....	13
Désignation et symboles des températures. Maintien du qualificatif « international ».....	15
Définition de l'atmosphère normale (Définition recommandée. — Conservation du système de Potsdam pour l'expression de la gravité locale. — Changement à introduire dans le texte de l'Échelle Internationale de Température de 1948).....	17
Procès-verbal de la deuxième séance, mardi 13 juillet 1954..	20
Discussion et adoption de la Proposition 1 relative à la définition de l'échelle thermodynamique à un point fixe fondamental.....	20
Nécessité de réviser le texte de l'Introduction de l'Échelle Internationale de Température.....	22
Adoption du tableau des désignations et abréviations des températures.....	22
Circulation de thermomètres à résistance pour comparaison internationale de l'intervalle 0-100°C (Résultats obtenus. — Approbation du projet de comparaison internationale de l'intervalle compris entre le point d'ébullition de l'oxygène et le point triple de l'eau. — Transport des thermomètres à résistance)...	23
Adoption de la Proposition 2 concernant le système gravimétrique de référence à adopter pour la réalisation pratique de l'atmosphère normale.....	26

	Pages.
Perfectionnement des techniques (Études sur le thermomètre à résistance de platine en vue de son utilisation jusqu'à 1063°C. — Choix des points fixes. — Formules d'interpolation. — Programmes de travaux prévus dans les Laboratoires. — Nécessité d'une détermination précise de la température des points de solidification de Au, Ag et Zn dans l'échelle thermodynamique)..	T 27
Procès-verbal de la troisième séance, mardi 13 juillet 1954..	33
Adoption de la Proposition 3 résumant le programme des études à entreprendre dans les Laboratoires.....	33
État des travaux en cours sur le thermomètre à gaz et le thermomètre à effet Johnson.....	34
Observations concernant le domaine des basses températures.....	35
Emploi de composés organiques comme repères thermométriques secondaires.....	36
Échange de vues et adoption de la Proposition 4 relative à l'équipement du Bureau International pour la réalisation de l'Échelle Internationale de Température.....	36
Projet de comparaisons par échange de lampes pyrométriques.....	38
Discussion sur les critères de pureté relatifs au thermocouple.....	39
Études sur le thermomètre à mercure en silice.....	40
Emploi des thermistances en thermométrie de précision...	41
Discussion sur la définition du degré Kelvin.....	41
Hommage rendu à Kelvin et à Mendéléév.....	43
Quatrième Rapport du Comité Consultatif de Thermométrie au Comité International des Poids et Mesures; par J. A. Hall.....	44
Annexes des Procès-Verbaux du Comité Consultatif de Thermométrie.....	51
T 1. <i>Résolutions de l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée et de l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée.....</i>	51
T 2. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS ET MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY (États-Unis d'Amérique). — <i>Sur la température du point de fusion de la glace dans l'échelle Kelvin; par H. F. Stimson et J. A. Beattie.....</i>	53
T 3. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS (États-Unis d'Amérique). — <i>Proposition concernant l'échelle Glauque-Kelvin.....</i>	59

	Pages.
T 4. TOKYO INSTITUTE OF TECHNOLOGY (Japon). — <i>Commentaires sur la proposition du National Bureau of Standards concernant la meilleure valeur du point de glace</i> ; par J. Oishi.....	T 63
T 5. KAMERLINGH ONNES LABORATORIUM (Pays-Bas). — <i>Sur la température absolue du point de glace</i> ; par H. van Dijk.....	66
T 6. PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT (Allemagne). — <i>Nouveau calcul de la valeur limite des coefficients de dilatation et d'augmentation de pression de l'hélium, de l'hydrogène, de l'azote et du néon, d'après les dernières mesures de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt</i> ; par J. Otto.....	78
T 7. CENTRAL INSPECTION INSTITUTE OF WEIGHTS AND MEASURES (Japon). — <i>Propositions présentées au Comité Consultatif de Thermométrie</i>	86
T 8. BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. — <i>Sur la Note de U. Stille : Quelques remarques de principe sur la désignation des échelles de température</i> ; par J. Terrien.....	88
T 9. PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT (Allemagne). — <i>Proposition en vue d'une désignation sans équivoque des grandeurs et des unités de température dans différentes échelles de température</i> ; par H. Moser.....	90
T 10. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS (États-Unis d'Amérique). — <i>Commentaires sur la nomenclature des échelles de température</i> ; par H. F. Stimson.....	94
T 11. NATIONAL BUREAU OF STANDARDS (États-Unis d'Amérique). — <i>Rapport sur les comparaisons de l'intervalle fondamental effectuées avec les thermomètres à résistance étalons R 10 et S 167</i> ; par H. F. Stimson.....	96
T 12. NATIONAL PHYSICAL LABORATORY (Grande-Bretagne). — <i>Comparaison internationale de la mesure de l'intervalle fondamental de l'échelle de température avec les thermomètres à résistance de platine S 167 et R 13</i>	106
T 13. PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT (Allemagne). — <i>Comparaison internationale des thermomètres à résistance de platine R 13 et S 167</i>	114

	Pages.
T 14. KAMERLINGH ONNES LABORATORIUM (Pays-Bas). — <i>Résultats des mesures effectuées sur les thermomètres à résistance de platine R 13 et S 167.....</i>	T 115
T 15. NATIONAL PHYSICAL LABORATORY (Grande-Bretagne). — <i>Comparaison internationale de la mesure de l'intervalle fondamental de l'Échelle de Température avec les thermomètres à résistance de platine S 167, R 13 et 109.....</i>	116
T 16. INSTITUT DE MÉTROLOGIE DU NOM DE D. I. MENDÉLÉEV (U. R. S. S.). — <i>Les méthodes de réalisation de l'Échelle Internationale de Température dans l'intervalle de 400 à 1063°C.....</i>	122
T 17. INSTITUT DE MÉTROLOGIE DU NOM DE D. I. MENDÉLÉEV (U. R. S. S.). — <i>Les thermomètres à résistance de platine dans le domaine de 0 à 1063°C; par B. I. Piliptchouk.....</i>	134
T 18. CHAMBRE CENTRALE DES MESURES ET INSTRUMENTS DE MESURE (U. R. S. S.). — <i>Proposition concernant l'extension de l'Échelle Internationale de Température au-dessous du point d'ébullition de l'oxygène.....</i>	141
T 19. TOKYO INSTITUTE OF TECHNOLOGY (Japon). — <i>Nouvelles mesures du point de solidification de l'argent; par J. Oishi, M. Awano et T. Mochizuki.....</i>	148
T 20. NATIONAL RESEARCH COUNCIL (Canada). — <i>La stabilité de la température de solidification du zinc très pur; par E. H. McLaren.....</i>	152
T 21. NATIONAL RESEARCH COUNCIL (Canada). — <i>Analyse thermique du zinc de grande pureté; par E. H. McLaren.....</i>	157
T 22. NATIONAL RESEARCH COUNCIL (Canada). — <i>Comparaison de huit thermomètres à résistance de platine au point du zinc; par E. H. McLaren.....</i>	162
T 23. NATIONAL PHYSICAL LABORATORY (Grande-Bretagne). — <i>La stabilité des thermomètres à résistance de platine contenant de l'hélium.....</i>	166
T 24. <i>L'emploi de composés organiques comme repères thermométriques secondaires; par J. Timmermans..</i>	171
T 25. BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. — <i>Projet de comparaison des échelles pyrométriques par échange de lampes à ruban de tungstène.....</i>	177

TABLE DES MATIÈRES

XIII

	Pages.
T 26. BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. — <i>Corrections à l'échelle du thermomètre à mercure en quartz fondu. Résultats préliminaires; par H. Moreau.....</i>	T 182
T 27. BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. — <i>Sur l'emploi des thermistances en thermométrie de précision; par G. Leclerc.....</i>	185
T 28. <i>Bibliographie relative à l'Échelle Internationale de Température.....</i>	190
TABLE DES MATIÈRES.....	I-XIII



PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS

144752 Quai des Grands-Augustins, 55.

Dépôt légal, Imprimeur, 1956, n° 1110.

Dépôt légal, Editeur, 1956, n° 665.

ACHEVÉ D'IMPRIMER LE 16 AVRIL 1956.