

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

PROCÈS - VERBAUX

DES SÉANCES

2^e SÉRIE — TOME 39

60^e SESSION — 1971
(30 septembre — 8 octobre)



BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Pavillon de Breteuil, F 92310 SÈVRES, France

Dépositaire: OFFILIB, 48 rue Gay-Lussac, F 75005 Paris



NOTICE HISTORIQUE

Les organes de la Convention du Mètre

Le Bureau International, le Comité International et la Conférence Générale des Poids et Mesures

Le Bureau International des Poids et Mesures (B.I.P.M.) a été créé par la *Convention du Mètre* signée à Paris le 20 mai 1875 par dix-sept États, lors de la dernière séance de la Conférence Diplomatique du Mètre. Cette Convention a été modifiée en 1921.

Le Bureau International a son siège près de Paris, dans le domaine du Pavillon de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) mis à sa disposition par le Gouvernement français; son entretien est assuré à frais communs par les États membres de la Convention du Mètre ⁽¹⁾.

Le Bureau International a pour mission d'assurer l'unification mondiale des mesures physiques; il est chargé :

- d'établir les étalons fondamentaux et les échelles des principales grandeurs physiques et de conserver les prototypes internationaux;
- d'effectuer la comparaison des étalons nationaux et internationaux;
- d'assurer la coordination des techniques de mesure correspondantes;
- d'effectuer et de coordonner les déterminations relatives aux constantes physiques fondamentales.

Le Bureau International fonctionne sous la surveillance exclusive d'un *Comité International des Poids et Mesures* (C.I.P.M.), placé lui-même sous l'autorité d'une *Conférence Générale des Poids et Mesures* (C.G.P.M.).

La Conférence Générale est formée des délégués de tous les États membres de la Convention du Mètre et se réunit au moins une fois tous les six ans. Elle reçoit à chacune de ses sessions le Rapport du Comité International sur les travaux accomplis, et a pour mission :

- de discuter et de provoquer les mesures nécessaires pour assurer la propagation et le perfectionnement du Système International d'Unités (SI), forme moderne du Système Métrique;
- de sanctionner les résultats des nouvelles déterminations métrologiques fondamentales et les diverses résolutions scientifiques de portée internationale;
- d'adopter les décisions importantes concernant l'organisation et le développement du Bureau International.

Le Comité International est composé de dix-huit membres appartenant à des États différents; il se réunit au moins une fois tous les deux ans. Le bureau de ce Comité adresse aux Gouvernements des États membres de la Convention du Mètre un *Rapport Annuel* sur la situation administrative et financière du Bureau International.

Limitées à l'origine aux mesures de longueur et de masse et aux études métrologiques en relation avec ces grandeurs, les activités du Bureau International ont été étendues aux étalons de mesure électriques (1927), photométriques (1937) et des rayonnements ionisants (1960). Dans ce but, un agrandissement des premiers laboratoires construits en 1876-1878 a eu lieu en 1929 et deux nouveaux bâtiments ont été construits en 1963-1964 pour les laboratoires de la Section des rayonnements ionisants.

Une trentaine de physiciens ou techniciens travaillent dans les laboratoires du Bureau International; ils font des recherches métrologiques ainsi que des mesures dont les résultats sont consignés dans des certificats portant sur des étalons des grandeurs ci-dessus. Le budget annuel du Bureau International est de l'ordre de 3 000 000 de francs-or, soit environ 1 000 000 de dollars U.S.

⁽¹⁾ Au 31 décembre 1971, quarante et un États sont membres de cette Convention : Afrique du Sud, Allemagne, Amérique (É.-U. d'), Argentine (Rép.), Australie, Autriche, Belgique, Brésil, Bulgarie, Cameroun, Canada, Chili, Corée, Danemark, Dominicaine (Rép.), Espagne, Finlande, France, Hongrie, Inde, Indonésie, Irlande, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Arabe Unie, Roumanie, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, Thaïlande, Turquie, U.R.S.S., Uruguay, Vénézuéla, Yougoslavie.

Devant l'extension des tâches confiées au Bureau International, le Comité International a institué depuis 1927, sous le nom de *Comités Consultatifs*, des organes destinés à le renseigner sur les questions qu'il soumet, pour avis, à leur examen. Ces Comités Consultatifs, qui peuvent créer des « Groupes de travail » temporaires ou permanents pour l'étude de sujets particuliers, sont chargés de coordonner les travaux internationaux effectués dans leurs domaines respectifs et de proposer des recommandations concernant les modifications à apporter aux définitions et aux valeurs des unités, en vue des décisions que le Comité International est amené à prendre directement ou à soumettre à la sanction de la Conférence Générale pour assurer l'unification mondiale des unités de mesure.

Les Comités Consultatifs ont un règlement commun (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 31, 1963, p. 97). Chaque Comité Consultatif, dont la présidence est généralement confiée à un membre du Comité International, est composé d'un délégué de chacun des grands Laboratoires de métrologie et des Instituts spécialisés dont la liste est établie par le Comité International, ainsi que de membres individuels désignés également par le Comité International. Ces Comités tiennent leurs sessions à des intervalles irréguliers; ils sont actuellement au nombre de sept:

1. Le *Comité Consultatif d'Électricité* (C.C.E.), créé en 1927.
2. Le *Comité Consultatif de Photométrie* (C.C.P.), créé en 1933 (de 1930 à 1933 le Comité précédent s'est occupé des questions de photométrie).
3. Le *Comité Consultatif de Thermométrie* (C.C.T.), créé en 1937.
4. Le *Comité Consultatif pour la Définition du Mètre* (C.C.D.M.), créé en 1952.
5. Le *Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde* (C.C.D.S.), créé en 1956.
6. Le *Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants* (C.C.E.M.R.I.), créé en 1958. Depuis 1969 ce Comité Consultatif est constitué de quatre sections: Section I (Mesure des rayons X et γ), Section II (Mesure des radionucléides), Section III (Mesures neutroniques), Section IV (Étalons d'énergie α).
7. Le *Comité Consultatif des Unités* (C.C.U.), créé en 1964.

Les travaux de la Conférence Générale, du Comité International, des Comités Consultatifs et du Bureau International sont publiés par les soins de ce dernier dans les collections suivantes:

- *Comptes rendus des séances de la Conférence Générale des Poids et Mesures*;
- *Procès-Verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures*;
- *Sessions des Comités Consultatifs*;
- *Recueil de Travaux du Bureau International des Poids et Mesures* (ce Recueil rassemble les articles publiés dans des revues et ouvrages scientifiques et techniques, ainsi que certains travaux publiés sous forme de rapports multicopiés).

La collection des *Travaux et Mémoires du Bureau International des Poids et Mesures* (22 tomes publiés de 1881 à 1966) a été arrêtée en 1966 par décision du Comité International.

Le Bureau International publie de temps en temps, sous le titre *Les récents progrès du Système Métrique*, un rapport sur les développements du Système Métrique dans le monde.

Depuis 1965 la revue internationale *Metrologia*, éditée sous les auspices du Comité International des Poids et Mesures, publie des articles sur les principaux travaux de métrologie scientifique effectués dans le monde, sur l'amélioration des méthodes de mesure et des étalons, sur les unités, etc., ainsi que des rapports concernant les activités, les décisions et les recommandations des divers organismes issus de la Convention du Mètre.

LISTE DES MEMBRES
DU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

AU 8 OCTOBRE 1971

Président

1. J. M. OTERO, Président de la Junta de Energia Nuclear, Centro Nacional de Energia Nuclear « Juan Vigon », Ciudad Universitaria, *Madrid* 3.

Vice-Président

2. J. V. DUNWORTH, Directeur du National Physical Laboratory, *Teddington*, Middlesex.

Secrétaire

3. J. DE BOER, Directeur de l'Institut de Physique Théorique, Université d'Amsterdam, Valckenierstraat 65, *Amsterdam-C*.

Membres

4. L. M. BRANSCOMB, Directeur du National Bureau of Standards, *Washington* D.C. 20 234.
5. L. CINTRADO PRADO, Professeur à l'Université, Alameda Rocha Azevedo 1274 (Apto. 71), *São Paulo*, sp. 01410.
6. E. DJAKOV, Directeur de l'Institut d'Électronique, Académie des Sciences de Bulgarie, *Sofia* 13.
7. P. HONTI, Vice-Président de l'Office National des Mesures, Némethy-völgyi ut. 37-39, *Budapest XII*.
8. B. M. ISSAEV, Vice-Président du Comité d'État des Normes du Conseil des Ministres de l'U.R.S.S., Leninski prosp. 9 b, *Moscou* M 49.
9. F. J. LEHANY, Chef de la Division of Applied Physics, National

Standards Laboratory, University Grounds, City Road, *Chippendale*, N. S. W. 2008.

10. A. MARÉCHAL, Directeur Général de l'Institut d'Optique, 3-5 boulevard Pasteur, 75015 *Paris*.
11. A. PERLSTAIN, Directeur du Bureau Fédéral des Poids et Mesures, Lindenweg 24, 3084 *Wabern*.
12. H. PRESTON-THOMAS, Sous-Directeur de la Division de Physique du Conseil National de Recherches, *Ottawa* K1A OS1.
13. M. SANDOVAL VALLARTA, Membre de la Commission Nationale de l'Énergie Nucléaire, Insurgentes Sur 1079, *Mexico* 18, D. F.
14. K. SIEGBAHN, Directeur de l'Institut de Physique, Box 530, 75121 *Uppsala* 1.
15. U. STILLE, Président de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 33 *Braunschweig*.
16. J. STULLA-GÖTZ, Ancien Président du Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Gentzgasse 3, 1180 *Vienne* 18.
17. Y. TOMONAGA, Président de la Japan Society for the Promotion of Machine Industry, 1-1-12 Hachimano-cho, Higashikurume-City, *Tokyo*.
18. A. R. VERMA, Directeur du National Physical Laboratory of India, Hillside Road, *New Delhi* 12.

Membres honoraires

1. A. V. ASTIN, Consultant Director, National Bureau of Standards, *Washington* D. C. 20 234.
2. H. BARRELL, National Physical Laboratory, *Teddington*, Middlesex*.
3. G. D. BOURDOUN, Institut de Métrologie, Chaire de Métrologie, Vadkovski per. 3 a, Stankin, *Moscou* A-55.
4. L. DE BROGLIE, de l'Académie Française, Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences, 94 rue Perronet, 92200 *Neuilly-sur-Seine*.
5. N. A. ESSERMAN, 2/29 A Stawell Street, *Kew*, Victoria 3101.
6. R. H. FIELD, 32 Highgate Gardens, *St. Michael* (Barbados, B.W.I.).
7. L. E. HOWLETT, 51 Southern Drive, *Ottawa* 1, Ontario.
8. M. KERSTEN, Ancien Président de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 33 *Braunschweig*.
9. M. SIEGBAHN, Directeur du Nobelinstitutet för Fysik, *Stockholm* 50.
10. R. VIEWEG, Membre du Conseil de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Dachsbergweg 6, 61 *Darmstadt*.

* Le Bureau International des Poids et Mesures a appris avec un profond regret le décès de H. BARRELL survenu le 16 février 1972.

LISTE DU PERSONNEL

DU

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

AU 1^{er} JANVIER 1972

Directeur : J. Terrien

Sous-Directeur : P. Giacomo

LABORATOIRES

Physiciens Chercheurs principaux

A. Allisy, P. Carré, A. Rytz.

Physiciens et Métrologistes

G. Leclerc, A. Sakuma, J. Bonhoure, J. Hamon, J. W. Müller, V. D. Huynh, D. Gorman, T. Witt, G. Girard, J.-M. Chartier.

Techniciens et Calculateurs

P. Bréonce, L. Lafaye, J. Hostache, C. Colas, D. Carnet, F. Lesueur, C. Veyradier, J. Fournier, C. Garreau, M^{me} J. Coarasa, D. Avrons, R. Pello, D. Bournaud, M^{me} R. Czerwonka, M^{me} J.-M. Chartier.

Mécaniciens

R. Michard, R. Hanocq, G. Boutine, C. Gilbert, J. Leroux, J. Dias.

ADMINISTRATION ET SERVICES

Métrologiste rédacteur

H. Moreau.

Administrateur

A. Jeannin.

Secrétaires

M^{lles} J. Monprofit, D. Guégan.

M^{mes} B. Petit, A. Delfour.

M^{me} G. Pedrielli (contractuelle).

Gardiens

A. Montbrun, L. Lecoufflard.

Services d'entretien généraux

2 agents (A. Gama, D. Rotrou).

4 employés (contractuels).

Directeur honoraire : Ch. Volet

Adjoint honoraire : A. Bonhoure

ORDRE DU JOUR DE LA SESSION

1. Ouverture de la session; quorum; approbation de l'ordre du jour.
 2. Rapport du Secrétaire du Comité.
 3. Programme des séances de la Conférence Générale.
 4. Présentation à la Conférence Générale des propositions du Comité International concernant les Étalons Matériels de Référence.
 5. Rapports des Comités Consultatifs (Thermométrie, Unités, Photométrie, Rayonnements ionisants [Section II]).
 6. Composition des Comités Consultatifs; réunions futures.
 7. Rapport du directeur.
 8. Rapport de la Commission Administrative.
 9. Procès-verbaux de l'extraction et de la remise en place de l'ancien Prototype International du mètre; visite du caveau des prototypes métriques.
 10. Élection du bureau du Comité après le renouvellement par la Conférence Générale.
 11. Questions diverses.
-

60° SESSION (SEPTEMBRE-OCTOBRE 1971)

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

TENUES A SÈVRES ET A PARIS

Présidence de Mr J. M. OTERO

Le Comité International s'est réuni pour sa 60^e session du jeudi 30 septembre au vendredi 8 octobre 1971. Il a tenu trois séances au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, et deux séances à l'Office International des Épizooties, à Paris.

Étaient présents: MM. DE BOER, BRANSCOMB, CINTRA DO PRADO, DJAKOV, DUNWORTH, HONTI, ISSAEV, MARÉCHAL, OTERO, PERLSTAIN, PRESTON-THOMAS, SANDOVAL VALLARTA, SIEGBAHN, STILLE, STULLA-GÖTZ, TOMONAGA, TERRIEN (directeur du Bureau International) et GIACOMO (sous-directeur).

Excusés: MM. LEHANY, VERMA.

Secrétaire: Mlle Monprofit.

1. *Ouverture de la session; quorum; ordre du jour*

Le *Président* ouvre la séance, souhaite la bienvenue à tous et constate que le quorum est atteint. Il rappelle que Y. Väisälä, membre du Comité depuis 1954, est décédé en juillet 1971; il fait l'éloge de cet éminent astronome qui est en même temps l'inventeur d'une méthode de mesure interférentielle des bases géodésiques.

Une élection a été organisée pour pourvoir à cette vacance; le vote a eu lieu par correspondance et a été dépouillé le matin du 30 septembre. Mr Perlstain, directeur du Bureau Fédéral des Poids et Mesures à Wabern (Suisse), a été élu à l'unanimité. Mr Sandoval Vallarta, en voyage, n'avait pas pu prendre part au vote; il tient néanmoins à s'associer à ce vote unanime.

Mr *Perlstain* remercie, en son propre nom et au nom de son pays, les membres du Comité qui lui ont fait l'honneur de l'inviter à siéger parmi eux.

Après une légère modification dans l'ordre des points à discuter, l'ordre du jour est approuvé (p. 10).

Le Secrétaire du Comité, Mr *de Boer*, donne lecture de son rapport.

2. Rapport du Secrétaire du Comité

(9 octobre 1970 — 30 septembre 1971)

1. Membres du Comité International

Décès. — Nous avons appris avec un profond regret le décès de Y. Väisälä, survenu le 21 juillet 1971. Il était membre du Comité International depuis octobre 1954.

Élection. — Afin de pourvoir le siège devenu vacant, une élection par correspondance a désigné (30 septembre 1971) Mr A. Perlstain, directeur du Bureau Fédéral des Poids et Mesures de Suisse.

2. Réunions de Comités Consultatifs. — La Section II (Mesure des radionucléides) du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants a tenu sa 1^{re} réunion du 19 au 21 octobre 1970, sous la présidence de Mr P. J. Champion.

Le Comité Consultatif de Thermométrie s'est réuni du 6 au 8 juillet 1971, sous la présidence de Mr H. Preston-Thomas.

Le Comité Consultatif des Unités a tenu sa 3^e session les 23 et 24 août 1971, sous la présidence de Mr J. de Boer.

Le Comité Consultatif de Photométrie a tenu sa 7^e session du 1^{er} au 3 septembre 1971, sous la présidence de Mr A. Maréchal.

Toutes ces réunions ont eu lieu au Pavillon de Breteuil.

3. Activités du bureau du Comité International. — La tâche essentielle du bureau du Comité a été cette année la préparation de la Quatorzième Conférence Générale. La Convocation a été envoyée en janvier 1971 par la voie diplomatique habituelle aux États membres de la Convention du Mètre, avec le « Programme de travail et budget du Bureau International des Poids et Mesures dans les quatre années 1973-1976 ». Le 19 mai, aussitôt après une réunion de la Commission préparatoire pour les Étalons Matériels de Référence, le bureau du Comité a mis au point un document, qui a été envoyé aux États en juin 1971 comme complément à la Convocation et qui expose les propositions du Comité International sur le rôle que pourrait jouer le Bureau International en cette matière.

4. Accord avec d'autres organisations internationales. — Dans mon rapport de l'année précédente j'ai omis d'indiquer qu'un échange de lettres (9 janvier 1970 — 27 avril 1970) a eu lieu entre le directeur du B.I.P.M. et le directeur du Bureau International de Métrologie Légale (B.I.M.L.) afin de rendre officielle la coopération entre ces deux organismes pour tous les sujets d'intérêt commun.

5. Adhésion à la Convention du Mètre. — Par lettre du 14 octobre 1970, le Ministère des Affaires Étrangères nous a fait savoir que le Gouvernement français avait reçu le 7 octobre 1970 l'instrument d'adhésion du Gouvernement de la République Fédérale du Cameroun à la Convention internationale du Mètre. Cette adhésion porte à 41 le nombre des États membres de cette Convention.

6. Indications financières. — Le tableau ci-après donne la situation de l'actif du Bureau International, en francs-or, au 1^{er} janvier des années portées en tête de colonne :

	1968	1969	1970	1971
Fonds ordinaires	859 345,03	1 339 611,32	1 509 404,64	1 705 698,88
Caisse de Retraites	144 860,36	188 335,92	249 714,20	287 973,41
Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique	8 663,59	8 663,59	8 663,59	8 663,59
Laboratoire pour les rayonnements ionisants (construction et équipement de base)	361 449,64	—	—	—
Totaux	1 374 318,62	1 536 610,83	1 767 782,43	2 002 335,88

On rappelle que le compte « Laboratoire pour les rayonnements ionisants » a été clos le 31 décembre 1968.

Sur la demande de Mr Stille, Mr *Terrien* donne quelques précisions sur l'accord de coopération entre le B.I.P.M. et le B.I.M.L. Il s'agit d'un échange de lettres très simples ne visant que les points d'intérêt commun et non pas d'un protocole détaillé; les accords antérieurs avec l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique et avec la Commission des Communautés Européennes sont analogues.

3 et 4. Préparation de la 14^e Conférence Générale des Poids et Mesures

Le bureau du Comité propose une modification de l'ordre du jour de la 14^e Conférence Générale des Poids et Mesures : il serait plus logique de reporter les points 7 et 8 (Programme des travaux futurs et Dotations annuelles pour les années 1973-1976) après un exposé plus complet de la situation actuelle, c'est-à-dire après le point 12 de la Conférence. Cette suggestion est approuvée.

3. Dotation du Bureau International

Les discussions sur le projet de résolution à présenter à la Conférence Générale concernant la dotation financière du Bureau International pour la période 1973-1976 se sont poursuivies sur plusieurs séances et peuvent être résumées comme suit.

Mr *Issaev* déclare que les dotations indiquées dans le texte de la Convocation de la 14^e Conférence Générale sont présentées sous une forme qui est en contradiction avec les Résolutions de la 13^e Conférence Générale. En effet, la 13^e Conférence Générale a adopté deux Résolutions distinctes, l'une pour assurer le fonctionnement à niveau constant du Bureau International jusqu'à la fin de 1972 par des dotations en accroissement annuel de 9 %, l'autre pour le développement des activités du Bureau International par des dotations qui peuvent être payées en monnaie nationale; la distinction entre ces deux dotations était le résultat d'un compromis sans lequel la décision n'aurait pas pu être prise. Cette distinction doit être maintenue.

Or, dans les propositions figurant à la Convocation, les deux dotations pour l'année 1972 ont été rassemblées en une seule qui est prise comme point de départ des dotations en accroissement annuel de 9 % pour les années 1973-1976. Mr *Issaev* demande 1^o que cette dotation de départ, celle de 1972, soit de 2 475 000 francs-or, et non pas 2 990 000 francs-or, nombre qui ne figure pas dans les Résolutions de la 13^e Conférence Générale; 2^o que la question des sommes payables en monnaie nationale soit discutée séparément.

A la suite de cette demande, diverses remarques sont exprimées par MM. *Branscomb*, *de Boer*, *Dunworth* et *Terrien*. La dotation de 2 990 000 francs-or pour 1972 figure dans toutes les « Notifications des parts contributives dues par les Gouvernements... » et dans tous les

« Rapports annuels aux Gouvernements... » postérieurs à la 13^e Conférence Générale; on n'y mentionne qu'une dotation unique, conformément à la Convention du Mètre.

Si l'on prenait 2 475 000 francs-or comme dotation de départ, on ferait subir au budget du Bureau International une diminution brutale de 17 % que certainement personne ne désire, et qui remettrait en question l'accord obtenu au Comité International à sa session précédente sur les propositions présentées dans la Convocation de la 14^e Conférence Générale.

Mr *Honti* rappelle les difficultés rencontrées lors de la 13^e Conférence Générale; un compromis a permis de sortir de ces difficultés grâce à une autorisation de paiement partiel en monnaie nationale. A présent, un compromis analogue devrait être cherché afin que le budget du Bureau International ne subisse pas de diminution brutale.

La discussion s'engage ensuite sur le pourcentage de la dotation dont on pourrait autoriser le paiement en monnaie nationale. MM. *de Boer* et *Cintra do Prado* notent que si l'on prolongeait la progression commencée en 1969, ce pourcentage atteindrait déjà 25 % en 1976, et il continuerait à s'accroître si l'on continuait de cette façon. Plusieurs délégations à la Conférence Générale refuseraient cette éventualité. Il est impossible que le Bureau International puisse survivre dans de telles conditions, car le paiement du personnel, qui absorbe 60 % du budget, et la majeure partie des autres dépenses, doivent être effectués en francs français. Il est donc nécessaire de fixer une limite au pourcentage de la dotation payable en monnaie nationale, et de donner à la Conférence Générale une justification du montant de cette limite.

Jusqu'à présent, malgré plusieurs tentatives, le Bureau International n'a pas encore pu utiliser les monnaies nationales non convertibles dont il dispose en Hongrie et en Pologne, mais il a l'espoir d'aboutir. Les dépenses que le Bureau International a faites récemment pour des voyages scientifiques en U.R.S.S. semblaient offrir l'occasion d'utiliser une partie des contributions de l'U.R.S.S., mais les efforts sont restés sans succès.

L'UNESCO, bien qu'elle ait des bureaux dans plusieurs pays, et malgré l'accord préalable nécessaire de son directeur général pour des paiements en monnaie nationale, rencontre aussi des difficultés. L'utilisation des monnaies nationales est donc problématique lorsque ces monnaies ne sont pas convertibles. Déjà, malgré la modicité des sommes inemployées, le programme de développement du Bureau International a dû être un peu ralenti.

Mr *Issaev* estime que l'on n'a pas encore suffisamment d'expérience dans l'emploi des monnaies nationales. Il envisage trois possibilités :

- 1^o le Bureau International achèterait des équipements dans les pays concernés;

2° certains travaux prévus au Bureau International seraient transférés dans les laboratoires nationaux de ces pays;

3° le programme de travail du Bureau International contient des projets qui ne sont pas dans ses attributions et qui seraient supprimés.

Le *Président* et la plupart des membres constatent que tous les laboratoires nationaux participent déjà aux travaux métrologiques d'intérêt international sans que leur travail soit considéré comme une contribution aux tâches du Bureau International. Si l'on répartissait entre les laboratoires nationaux, même en partie, les tâches qui sont en ce moment celles du Bureau International, on irait à l'encontre de l'esprit dans lequel le Bureau International a été créé; une telle proposition ne peut pas être acceptée.

Quant au programme de travail du Bureau International, il a été approuvé par le Comité International à sa session précédente, puis communiqué aux Gouvernements dans des rapports détaillés. On devra d'abord s'assurer que ce programme reçoit l'approbation de la Conférence Générale. Un projet de résolution est discuté et mis sous la forme définitive suivante :

Projet de résolution D (1)

La Quatorzième Conférence Générale des Poids et Mesures,

ayant considéré le programme d'activité du Bureau International des Poids et Mesures étudié et proposé par le Comité International des Poids et Mesures pour les quatre années 1973-1976,

ayant constaté que ce programme est conçu de façon que le Bureau International des Poids et Mesures accomplisse ses missions en liaison avec les Comités Consultatifs et sous l'autorité du Comité International des Poids et Mesures, missions dont les plus importantes sont :

— la coordination des programmes de recherche métrologique ayant un intérêt international;

— la certification d'étalons servant de points de départ aux laboratoires qui le demandent;

— l'organisation de mesures comparatives en vue de l'uniformité mondiale des résultats de mesure et en vue de la détection des erreurs;

— l'élévation du niveau scientifique du personnel à un degré suffisant pour que le Bureau International des Poids et Mesures participe aux recherches métrologiques, assimile et mette en œuvre les nouvelles techniques, et fournisse une aide compétente aux pays de plus en plus nombreux qui s'efforcent de développer leur industrie et leur métrologie;

donne son approbation au programme d'activité du Bureau International des Poids et Mesures proposé par le Comité International des Poids et Mesures pour les quatre années 1973-1976.

Le Comité approuve ce projet, mais Mr *Issaev* se réserve d'exprimer quelques commentaires lorsque ce projet sera discuté par la Conférence Générale.

(1) Ce projet de résolution a été adopté à l'unanimité par la 14^e Conférence Générale (Résolution 4).

La Conférence Générale attend que le Comité International lui présente un projet de résolution sur la dotation du Bureau International, et le devoir du Comité International est de rédiger un projet susceptible d'être adopté, c'est-à-dire qui ne soulève aucun avis contraire.

Au cours de la discussion sur la rédaction des considérants, selon un avant-projet de résolution préparé par le bureau du Comité, le *Président* fait remarquer que l'accroissement annuel de 9 %, évalué en 1970, pour le maintien d'un niveau d'activité constant, devrait être maintenant porté à 10 % en raison du rythme accru de la hausse des prix et des salaires en France; cependant, l'avis général est qu'il est trop tard pour en tenir compte, car on mettrait dans l'embarras les délégués à la Conférence Générale qui ont reçu de leur Gouvernement des instructions sur la base de 9 %. Les considérants, rédigés définitivement après discussion, sont approuvés par le Comité.

On discute ensuite la fin de l'avant-projet qui indique le montant des dotations. Le Comité est d'accord pour que les dotations demandées soient celles de la Convocation, corrigées d'une erreur numérique (4 670 000 au lieu de 4 660 000 francs-or en 1976).

Mr *Issaev* réitère sa demande pour que soient inscrites, pour chacune des quatre années, deux sommes distinctes : l'une prolongeant l'accroissement annuel de 9 % commencé en 1969, l'autre, payable en monnaie nationale, indiquant le complément pour le développement des activités du Bureau International, conformément à la tradition.

La majorité des membres du Comité se refuse à qualifier de tradition une innovation qui n'a eu lieu qu'une fois et qu'il sera impossible de maintenir indéfiniment. Considérant que la monnaie nationale de plusieurs pays est convertible et facilement utilisable, que la plupart des autres pays ont jusqu'à présent payé la totalité de leur contribution en monnaie convertible, que Mr *Issaev* promet d'examiner sérieusement avec le bureau du Comité et le directeur du Bureau International les modalités d'emploi de la monnaie soviétique, et que l'absence d'avis contraire lors du vote des dotations est nécessaire, le Comité s'accorde finalement pour proposer à la Conférence Générale d'autoriser le paiement en monnaie nationale de sommes dont le montant soit à peu près celui que demande Mr *Issaev*, malgré leur importance. Mais la majorité voudrait qu'une limite soit fixée au pourcentage payable en monnaie nationale, que cette autorisation soit soumise à certaines conditions, et que ce précédent ne soit pas interprété comme une tradition, mais plutôt comme un essai de durée limitée dont les résultats seront appréciés à la Conférence Générale suivante.

Finalement, après une longue discussion et un délai de réflexion demandé par Mr *Issaev*, le Comité International se met d'accord unanimement sur le projet de résolution E dans lequel une seule dotation est inscrite à chacune des quatre années, et la partie payable en monnaie nationale est spécifiée par un pourcentage fixe. De plus, il est convenu

que le Comité International, avant la 15^e Conférence Générale (prévue en 1975), informera les Gouvernements, en même temps qu'il convoquera cette Conférence, sur la façon dont les monnaies nationales ont pu réellement être utilisées par le Bureau International.

Projet de résolution E (2)

La Quatorzième Conférence Générale des Poids et Mesures,
considérant

que le programme d'activité du Bureau International des Poids et Mesures proposé par le Comité International des Poids a été approuvé,

que ce programme comporte la mise au point et la mise en œuvre permanente de techniques métrologiques nouvelles, particulièrement pour les mesures de longueur et les mesures électriques, nécessitant des investissements en matériel et en personnel compétent,

qu'un accroissement annuel de 9 pour cent de la dotation du Bureau International est déjà devenu insuffisant pour le maintien des activités à leur niveau actuel, compte tenu de l'évolution des prix et des salaires et du niveau scientifique croissant exigé du personnel,

décide que la partie fixe de la dotation annuelle sera augmentée de façon que l'ensemble de la partie fixe et de la partie complémentaire (définies à l'Art. 6 [1921] du Règlement annexé à la Convention du Mètre) soit, pour les États parties à la Convention à l'époque de la Treizième Conférence Générale

en 1973	3 340 000 francs-or
1974	3 740 000
1975	4 180 000
1976	4 670 000

autorise que, sous réserve de la condition ci-après, un pourcentage de 22 pour cent des contributions annuelles puisse être payé en monnaie nationale, la condition obligatoire étant que le Comité International soit averti au moins un an avant le début de l'année en cause, afin que le budget annuel puisse être préparé, puis décidé par le Comité International, en tenant compte de la nature des devises qui seront disponibles.

invite les États qui choisiraient d'effectuer ces paiements en monnaie nationale à se mettre d'accord avec le Comité International des Poids et Mesures pour qu'ils soient employés à la satisfaction des besoins du Bureau International des Poids et Mesures en tenant compte des lois du pays.

Mr *Cintra do Prado* demande si le cours du franc-or par rapport au dollar n'a pas changé depuis août 1971, comme suite aux mesures adoptées par les États-Unis concernant l'économie américaine. Mr *Terrien* répond que l'on s'en tient au taux de change indiqué dans les Notifications : 1 franc-or = 0,326 7 dollar U.S., c'est le cours officiel du dollar par rapport à l'or, défini par la loi américaine qui reste en vigueur, et non pas le cours au marché libre (3).

(2) Ce projet de résolution a été adopté sans avis contraire par la 14^e Conférence Générale (Résolution 5).

(3) *Note ajoutée aux épreuves.* La parité entre le franc-or et le dollar s'est trouvée modifiée après les décisions internationales prises en décembre 1971.

4. Propositions du Comité International concernant les Étalons Matériels de Référence

Le *Président* fait l'historique de l'étude menée par la Commission préparatoire pour les Étalons Matériels de Référence sous la présidence de Mr Dunworth. Cette Commission s'est réunie le 19 mai 1971 et a présenté son rapport au Comité International. Les conclusions auxquelles on est arrivé ont fait l'objet d'un complément à la Convocation qui a été adressée aux États membres par la voie diplomatique en juin 1971. Le *Président* donne lecture des passages essentiels de ce document :

« Le Comité International a constaté qu'il serait impossible que le Bureau International s'occupe de l'ensemble des problèmes posés par les étalons matériels de référence sans une augmentation considérable de son personnel et de son budget.

.....

« Malgré le travail supplémentaire que cela entraînera, le Bureau International est prêt à organiser un centre de coordination internationale et un centre d'information pour les étalons matériels de référence qui sont nécessaires à la réalisation des étalons des unités de base du Système International d'Unités, et cette activité pourrait être entreprise par le Bureau International sans augmentation de la dotation financière déjà demandée par le Comité International des Poids et Mesures pour les années 1973-1976. »

Le Comité International estime qu'il n'est pas nécessaire de proposer une résolution à la Conférence Générale sur cette question.

5. Rapports des Comités Consultatifs

Quatre Comités Consultatifs se sont réunis depuis la précédente session du Comité International : la Section II du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants, les Comités de Thermométrie, des Unités et de Photométrie.

Mr *Preston-Thomas* présente le rapport provisoire du *Comité Consultatif de Thermométrie* (C.C.T.) qui est remis aux membres du Comité International (voir le rapport définitif p. 92). Les anciens Groupes de travail qui ont participé à l'établissement de l'E.I.P.T.-68 sont dissous. Ils sont remplacés par quatre nouveaux Groupes de travail dont la tâche sera de coordonner les études concernant cette Échelle, et de tenir le C.C.T. au courant des améliorations qui pourront être proposées, dans l'avenir, pour l'E.I.P.T.

Le rapport du *Comité Consultatif des Unités* (C.C.U.) n'ayant pu être achevé à temps pour être présenté au Comité International au cours de cette session, Mr *de Boer* se borne à en résumer les principales conclusions qui avaient fait l'objet d'un document distribué en séance (voir le rapport définitif p. 108).

Le C.C.U. a recommandé que le nom d'une même unité dans les diverses langues conserve une forme facilement reconnaissable, malgré les particularités qui s'imposent dans chaque langue.

Le C.C.U. a exprimé son avis sur le kilowattheure, qui ne devrait pas être maintenu indéfiniment. En règle générale, on devrait éviter les unités composées par la combinaison d'unités SI et d'unités en dehors du SI.

Mr *Stulla-Götz* ne voit pas de raison d'abandonner le kilowattheure. Mr *de Boer* répond que l'on peut très bien utiliser le mégajoule, qui est d'un ordre de grandeur aussi commode. Le C.C.U. a étudié la question attentivement; il pense que seul le conservatisme fait qu'on utilise le kilowattheure. D'autre part, plusieurs pays ont demandé au C.C.U. de prendre position sur cette question.

Le C.C.U. réaffirme les objections qu'il a exprimées à sa 1^{re} session (1967) concernant l'extension de la liste des préfixes SI. En particulier, ayant discuté la demande d'ajouter deux préfixes qui seraient *péta* (symbole P) et *exa* (symbole E) pour exprimer les multiples 10^{15} et 10^{18} , le C.C.U. a reconnu que ce choix serait assez convenable, mais il a estimé que le besoin de ces nouveaux préfixes n'a pas pour le moment un caractère d'urgence.

Le C.C.U. a également renouvelé l'interdiction de juxtaposer plusieurs préfixes SI.

Le C.C.U. a examiné une liste révisée proposée par l'I.S.O./TC 97 concernant les abréviations des unités à employer dans les systèmes de traitement et d'échange d'information, tels que les télex et les ordinateurs; les risques de confusion qui subsistaient dans les versions précédentes ont été supprimés, ce qui rend cette liste acceptable, mais exclusivement dans le cas où l'usage des symboles internationaux est impossible. Toutefois, le C.C.U. a cru utile d'étudier l'éventualité de remplacer les symboles °C et Ω par Cel et Ohm. Une lettre a été envoyée aux présidents des Comités Consultatifs de Thermométrie et d'Électricité les priant d'étudier cette question.

Mr *Dunworth* exprime son hostilité à des modifications trop fréquentes. Tout changement qui ne serait pas essentiel risque d'incommoder les utilisateurs du SI. D'autre part, il serait inopportun de donner à penser que le SI risque d'être constamment remis en question.

Mr *de Boer* entend bien qu'il ne faut apporter de changement que si cela est nécessaire. Dans le cas des symboles °C et Ω une modification ne serait pas dangereuse; d'ailleurs le degré Celsius ne fait pas partie des unités SI proprement dites. Même si l'on a l'intention de conserver le système tel qu'il est maintenant, il ne faut cependant pas être trop conservateur.

Mr *Branscomb* estime, comme Mr *Dunworth*, que le SI doit être maintenu sans changement, au moins pendant le temps où les États-Unis envisagent de l'adopter. En effet, pour le faire accepter il faut qu'il puisse être considéré comme stable et internationalement admis. En

ce qui concerne les symboles, il souhaite que le C.C.U. travaille en accord avec le comité approprié de l'I.S.O. qui est chargé des problèmes particuliers posés par l'utilisation des ordinateurs.

Mr *de Boer* répond que le C.C.U. travaille effectivement en liaison avec les Comités Techniques de l'I.S.O., en particulier l'I.S.O./TC 12. Il rappelle que l'I.S.O. considère la Conférence Générale des Poids et Mesures comme la plus haute autorité en la matière et se tourne vers elle dans les cas litigieux.

Mr *Maréchal* présente le rapport du *Comité Consultatif de Photométrie* (C.C.P.) (p. 117).

La précision accessible en photométrie est particulièrement faible, si on la compare à celle des mesures de longueur et plus encore de temps et de fréquence. Cependant, des progrès notables ont été faits en ce qui concerne les mesures radiométriques. Au N.S.L. (Australie) par exemple, on a obtenu une valeur expérimentale satisfaisante de la constante de Stefan-Boltzmann. Il est nécessaire de faire un gros effort pour développer les mesures radiométriques absolues qui ne dépendent pas des propriétés physiologiques de l'œil. Le C.C.P. a longuement discuté de l'opportunité de changer la définition de la candela. Il a étudié de façon systématique les arguments pour ou contre un tel changement; sa conclusion est qu'un changement serait prématuré, mais que l'on doit améliorer la détermination expérimentale des relations entre grandeurs photométriques et grandeurs radiométriques. Le C.C.P. a insisté sur l'utilité de poursuivre les travaux sur le point de congélation du platine.

Mr *Terrien* souligne que la Recommandation P 5 du C.C.P. demande une prise de position officielle du Comité International, puisqu'il s'agit du changement du nom de ce Comité Consultatif qui deviendrait maintenant le Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie. Mr *Maréchal* propose de permuter « Radiométrie » et « Photométrie », mais le *Président*, eu égard à l'ancienneté respective de ces deux disciplines, préfère conserver l'ordre « Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie », ce qui est approuvé par le Comité International.

Mr *Siegbahn*, président du *Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants*, indique que la réunion de la Section IV (Étalons d'énergie α) de ce Comité Consultatif, qui devait avoir lieu en mai 1971, a été ajournée, plusieurs membres étant dans l'impossibilité de venir à Sèvres. Une réunion de cette Section est prévue pour mars 1972.

La Section II (Mesure des radionucléides) de ce même Comité Consultatif s'est réunie du 19 au 21 octobre 1970 (voir le rapport p. 82). Elle a mis principalement l'accent sur l'étude approfondie des difficultés non résolues et des causes d'erreurs dans les mesures de l'activité des radionucléides. On a réparti le travail sur les problèmes expérimentaux entre les membres de cette Section.

Mr *Terrien* fait part de la participation éventuelle du Bureau Inter-

national à l'étude des doses absorbées dans les faisceaux de neutrons, étude pour laquelle il y aurait une possibilité d'aide du Gouvernement français. Si un tel travail peut être fait sans augmenter les dépenses du Bureau International, il ne soulève aucune objection.

Après avoir entendu les exposés sur les travaux de ces différents Comités Consultatifs, le Comité International approuve les diverses recommandations adoptées par ces Comités.

6. Composition des Comités Consultatifs; réunions futures

Thermométrie. — Mr *Preston-Thomas* demande que le Prof. C. A. Swenson (Iowa State University) soit ajouté à la liste des experts nominativement désignés du Comité Consultatif de Thermométrie. Dès 1954 le Prof. Swenson a fait des mesures au thermomètre à gaz dans le domaine de 4 K à 5 K. Il est particulièrement compétent dans la physique des basses températures. Il a également effectué des mesures au thermomètre magnétique.

Le Comité International est d'accord pour ajouter Mr Swenson à la liste des membres du C.C.T.

Rayonnements Ionisants. — Mr *Stille* fait remarquer que le C.C.E.M.R.I., qui est divisé en quatre sections, est composé de personnes nommément désignées; cela semble contraire au règlement des Comités Consultatifs: en principe, ce sont les laboratoires et non pas les physiciens de ces laboratoires qui sont membres, à l'exception évidemment des experts.

Le *Président* demande à Mr *Stille* s'il désire que l'on rétablisse les noms des laboratoires dans ces listes. Un tel changement n'est pas demandé, étant bien entendu, comme se le fait également préciser Mr *Branscomb*, qu'aucun des physiciens assistant aux réunions des Comités Consultatifs n'est autorisé à prendre des décisions sans en référer au directeur du laboratoire et que le laboratoire reste toujours maître de sa représentation au Comité Consultatif.

Les quatre sections du C.C.E.M.R.I. doivent se réunir en 1972 à des dates qui seront fixées ultérieurement ⁽⁴⁾.

Définition de la Seconde. — Mr *Stille* aborde ensuite le problème de l'échelle de temps atomique. La 14^e Conférence Générale vient de voter deux Résolutions concernant la mise en œuvre de l'Échelle de Temps Atomique International. Il semble nécessaire que le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (C.C.D.S.) se réunisse aussitôt que

⁽⁴⁾ Note ajoutée aux épreuves. Ces dates sont les suivantes: Section I (Rayons X et γ): 3-5 mai; Section II (Radionucléides): 5-7 septembre; Section III (Mesures neutroniques): 5-7 avril; Section IV (Étalons d'énergie α): 20-22 mars.

possible. Mr Dunworth a déjà pris contact avec le directeur du Bureau International de l'Heure à ce sujet et lui a demandé de préparer une note qui sera distribuée aux membres du C.C.D.S.; il décidera alors de la date à laquelle il convient de convoquer le C.C.D.S. et de son ordre du jour ⁽⁵⁾.

Le *Comité Consultatif d'Électricité* et son Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences se réuniront peu avant la prochaine session du Comité International ⁽⁶⁾.

7. Rapport du directeur; travaux du Bureau International

Mr *Terrien* résume brièvement son rapport annuel sur l'activité et la gestion du Bureau International (p. 27).

La parole est ensuite donnée à Mr Giacomo et aux physiciens du Bureau International pour donner quelques détails sur les travaux effectués ou en cours. Leurs exposés sont complétés par une visite des laboratoires, principalement de la nouvelle salle des balances.

Le *Président* et le Comité félicitent le Bureau International pour la qualité des travaux accomplis. A cette occasion, le *Président* tient à rappeler que l'un des grands prix de l'Académie des Sciences de Paris a été attribué en 1970 à Mr Terrien pour ses travaux en rapport avec la nouvelle définition du mètre, et que cette même Académie et la Société Française de Physique ont décerné chacune un prix à Mr Sakuma pour ses travaux en gravimétrie (mesure absolue de g).

8. Commission Administrative

La Commission Administrative, constituée de MM. de Boer (président), Branscomb, Cintra do Prado, Djakov, Dunworth, Honti, Issaev, Preston-Thomas, Siegbahn, Stille, Stulla-Götz, s'est réunie le vendredi 1^{er} octobre 1971 à 11 heures au Pavillon de Breteuil. Tous les autres membres présents à cette session du Comité y ont assisté, à l'exception de Mr Perlstain, empêché.

1. *Rapport du Directeur*. — Personnel: Deux physiciens ont été engagés, l'un D. Gorman, de nationalité canadienne, pour remplacer B. Grennberg dans la section des rayonnements ionisants, l'autre T. Witt, de nationalité américaine, pour les mesures électriques et plus particulièrement pour l'application de l'effet Josephson à la conservation du volt. T. Witt a été engagé le 1^{er} juillet 1971; il est depuis cette date en stage au N.B.S. où il prépare l'appareillage nécessaire, mettant ainsi à profit, dans les meilleures conditions, l'aide que nous a proposée ce grand laboratoire.

Bâtiments: Les travaux de bâtiment sont de deux ordres. Des travaux d'entretien pur et simple, qui sont à notre charge, et qui sont indispensables pour la bonne conser-

⁽⁵⁾ *Note ajoutée aux épreuves*. La 6^e session du C.C.D.S. a été fixée du 6 au 8 juillet 1972.

⁽⁶⁾ *Note ajoutée aux épreuves*. Le C.C.E. se réunira les 12 et 13 octobre 1972 et le Groupe de travail les 10 et 11 octobre.

vation des bâtiments mis à notre disposition par le Gouvernement français. Des travaux d'aménagement nécessaires pour l'activité scientifique : augmentation de la surface utilisable par aménagement de sous-sols, qui fourniront pour les balances par exemple des locaux de meilleure stabilité mécanique et thermique, passage de la distribution électrique de 127-220 V à 220-380 V pour disposer d'une puissance plus importante.

2. *Traitements du personnel.* — Les traitements sont établis d'après une grille où ils sont exprimés en points-or. La valeur du point-or est indexée sur un indice des prix à la consommation fourni par l'Institut National de la Statistique et des Études Économiques français. Cet indice a augmenté de 6,25 % par an pendant la période de trois ans la plus récente. Or, les salaires en France ont augmenté de 8 à 10 % par an pendant la même période. On doit en tenir compte par un relèvement global de la grille. Un tel relèvement a eu lieu en 1969. La Commission propose que l'on confie au bureau du Comité la charge de prendre les mesures nécessaires en cas d'urgence pour maintenir les salaires du personnel du Bureau au niveau des salaires pratiqués en France.

3. *Statut du personnel.* — Il convient de rassembler quelques modifications du statut du personnel, décidées par le Comité International depuis 1933, dans une nouvelle rédaction de ce statut qui est proposée à la Commission. Cette nouvelle rédaction (voir Annexe 1, p. 127) est approuvée par la Commission.

4. *Exercice 1970.* — Après examen du rapport de l'expert-comptable pour cet exercice, la Commission recommande que le Comité approuve les comptes pour 1970 et donne quitus au directeur et à l'administrateur.

5. *Budget 1972.* — Le projet de budget proposé pour 1972 est approuvé par la Commission.

La quasi-totalité des membres du Comité ayant assisté à la réunion de la Commission Administrative, le Comité approuve sans discussion, en séance plénière, les différents points de ce rapport et adopte le budget suivant pour 1972.

Budget pour 1972

RECETTES

	francs-or
Contributions des États	3 005 000
Intérêts des fonds	30 000
Taxes de vérification	5 000
Remboursements des taxes sur les achats	120 000
Total	<u>3 160 000</u>

DÉPENSES

francs-or

A. Dépenses de personnel :

1. Traitements	1 250 000	} 1 534 000
2. Allocations familiales	66 000	
3. Sécurité sociale	80 000	
4. Assurance-accidents	13 000	
5. Caisse de Retraites	125 000	

B. Dépenses de fonctionnement :

1. Bâtiments (entretien)	200 000	} 822 000
2. Mobilier	5 000	
3. Laboratoires et ateliers	380 000	
4. Chauffage, eau, énergie électrique	90 000	
5. Assurances	4 500	
6. Impressions et publications	45 000	
7. Frais de bureau	45 000	
8. Voyages	40 000	
9. Bureau du Comité	12 500	

C. Dépenses d'investissement :

1. Laboratoires	460 000	} 539 000
2. Atelier de mécanique	25 000	
3. Atelier d'électronique	22 000	
4. Bibliothèque	32 000	

D. *Frais divers et imprévus* 140 000

E. *Utilisation de monnaies non convertibles* 125 000

Total 3 160 000

**9. Procès-Verbaux de l'extraction et de la remise en place
du Mètre International \mathfrak{M} (1889)**

Visite du Dépôt des Prototypes métriques

Aujourd'hui vingt avril Mil neuf cent soixante et onze, en présence de Mr A. Maréchal, membre du Comité International des Poids et Mesures, de Mr Terrien, directeur du Bureau International et Mr P. Giacomo, sous-directeur, il a été procédé à l'ouverture du Dépôt des Prototypes.

Pour qu'on pût procéder à cette ouverture, Mr J. M. Otero, président du Comité International des Poids et Mesures, avait déposé au Bureau le 8 octobre 1970 la clef dite « du Président », dont il est statutairement le détenteur, et Mr P. Durye, Conservateur en Chef chargé du Secrétariat Général des Archives de France, avait fait remettre au Bureau la clef dite « des Archives » le 8 avril 1971.

Cette ouverture a été effectuée pour extraire du dépôt l'ancien Prototype International du mètre en platine iridié \mathfrak{M} qui doit être comparé à la longueur d'onde de la radiation correspondant à la transition entre les niveaux $2p_{10}$ et $5d_5$ de l'atome de krypton 86.

Dès la fin des comparaisons \mathfrak{M} sera redescendu dans le Dépôt des Prototypes métriques et les clefs « du Président » et « des Archives » rendues à MM. J. M. Otero et P. Durye.

Les indications suivantes ont été relevées sur les instruments de mesure placés dans le coffre-fort :

Température actuelle	19,2 °C
— minimale	19,0
— maximale	22,0
État hygrométrique	79 %

Le coffre-fort ainsi que les portes du Caveau ont été ensuite refermés.

Le Directeur du Bureau,

J. TERRIEN

Le Représentant du Comité,

A. MARÉCHAL

Aujourd'hui vingt-deux juin Mil neuf cent soixante et onze, à 14 heures, en présence de Mr A. Maréchal, membre du Comité International des Poids et Mesures, de

Mr J. Terrien, directeur du Bureau International des Poids et Mesures, et de Mr G. Leclerc, métrologue principal, l'ancien Prototype International du mètre en platine iridié M (N° 6 de la coulée Johnson-Matthey), a été replacé dans le Dépôt des Prototypes d'où il avait été extrait le vingt avril Mil neuf cent soixante et onze.

Le Directeur du Bureau,
J. TERRIEN

Le Représentant du Comité,
A. MARÉCHAL

Le procès-verbal de la visite périodique du Dépôt des Prototypes métriques, qui a eu lieu le 8 octobre 1971 en présence des membres du Comité International et des délégués à la 14^e Conférence Générale, est publié dans les *Comptes rendus de la 14^e Conférence Générale*.

10. Élection du bureau du Comité

La Conférence Générale doit statutairement renouveler par moitié le Comité International. Les membres sortants sont d'abord ceux qui ont été cooptés depuis la Conférence précédente : MM. Honti, Preston-Thomas, Branscomb, Issaev, Stille, Djakov et Perlstein. Deux membres doivent donc être désignés par le sort pour porter à neuf le nombre des sortants ; MM. de Boer et Sandoval Vallarta sont ainsi désignés. Le Comité décide de proposer à la Conférence Générale leur réélection.

Après le vote de la Conférence qui a renouvelé le mandat des neuf membres sortants, le Comité a procédé par vote au scrutin secret à l'élection de son bureau. Le résultat a été le suivant :

Mr Otero, président
Mr Dunworth, vice-président
Mr de Boer, secrétaire

par 15 voix et 1 abstention.

11. Questions diverses

Masse volumique de l'eau. — Le Président fait part de la lettre que lui a adressée le Secrétaire Général de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale lui demandant de porter à la connaissance des membres du Comité International le contenu d'une recommandation du « Joint Panel on Oceanographic Tables and Standards ». Aux termes de cette recommandation il s'avère que la connaissance de la masse volumique de l'eau est insuffisante.

Mr Terrien rappelle que les déterminations de la masse volumique et de la dilatabilité de l'eau sont très anciennes, et que les isotopes n'étaient pas connus à cette époque.

Le Président demande aux membres du Comité quels laboratoires pourraient entreprendre de telles mesures. Il serait souhaitable qu'elles soient effectuées dans deux laboratoires au moins.

Mr Terrien ne pense pas que le Bureau International puisse ajouter une telle mesure absolue à son programme de travail qui comprend déjà

des mesures relatives portant sur des eaux de composition isotopique différente.

Mr *Stille* regrette de ne rien pouvoir proposer. La P.T.B. n'est pas intéressée par ce problème et ne possède aucun équipement lui permettant d'effectuer ces mesures.

Mr *Terrien* suggère que le matériel utilisé au N.P.L. pour la mesure de la masse volumique du mercure pourrait convenir.

Mr *Stille* indique d'ailleurs qu'à la P.T.B. on utilise les résultats du N.P.L. et que l'on n'a pas jugé nécessaire de recommencer des mesures de la masse volumique du mercure.

Mr *Dunworth* étudiera la possibilité de mesurer la masse volumique de l'eau au N.P.L., mais il ne peut pas encore se prononcer : le Dr Cook, qui avait effectué la mesure de la masse volumique du mercure, est maintenant à l'Université d'Edinburgh.

Mr *Preston-Thomas* indique qu'il y a peut-être une possibilité au N.R.C. mais qu'il ne peut donner une réponse pour l'instant.

Mr *Issaev* se promet, dès son retour à Moscou, de poser la question aux directeurs des Instituts scientifiques d'U.R.S.S., car elle présente un intérêt particulier, mais il ne peut s'avancer davantage.

Mr *Maréchal* suggère que le Bureau National de Métrologie (France) s'intéresse à cette question. Il pense que l'holographie différentielle pourrait peut-être apporter une aide pour résoudre ce problème.

Il est décidé que Mr *Terrien* reprendra contact avec les directeurs de laboratoires sur cette question.

Définition de l'ampère. — Mr *Sandoval Vallarta* souhaiterait que l'on étudie une meilleure définition de l'ampère. Le *Président* appuie cette suggestion et Mr *de Boer* demande à Mr *Vallarta* de faire des suggestions précises, de préférence par écrit.

Exposé sur l'état actuel de la métrologie. — Mr *Terrien* demande s'il est nécessaire de publier in extenso dans les Comptes rendus de la 14^e Conférence Générale l'exposé qu'il a fait devant cette Conférence sur l'état actuel de la métrologie dans le monde. Le Comité International est unanime à demander que cet exposé soit publié, peut-être même en annexe aux Comptes rendus; il est souhaitable qu'il puisse être diffusé sous une forme de tirage à part, car, comme le souligne le *Président*, cet exposé a frappé par sa clarté.

61^e session du C.I.P.M. — La prochaine session du Comité International se tiendra au Pavillon de Breteuil, du 17 au 20 octobre 1972.

* * *

Le *Président* remercie ses collègues de la confiance qu'ils lui ont renouvelée en le réalisant, et il se félicite de constater que les réunions du Comité sont très constructives grâce à l'atmosphère amicale qui règne dans la « famille des métrologistes ».

RAPPORT DU DIRECTEUR

SUR L'ACTIVITÉ ET LA GESTION DU BUREAU INTERNATIONAL

(1^{er} octobre 1970 — 1^{er} octobre 1971)

I. — PERSONNEL

Engagements

David GORMAN, Ph. D., de nationalité canadienne, né en 1941, a été engagé comme physicien dans la section des rayonnements ionisants le 1^{er} février 1971.

Thomas WITT, Ph. D., de nationalité américaine, né en 1944, a été engagé comme physicien le 1^{er} juillet 1971; il restera en stage au N.B.S. pendant quelques mois pour préparer les expériences sur l'effet Josephson qu'il doit entreprendre au Bureau International.

Daniel ROTROU a été engagé le 1^{er} janvier 1971 comme agent d'entretien.

II. — BÂTIMENTS

Observatoire

Le précédent Rapport mentionnait les travaux de transformation complète entrepris dans les salles 4 et 5; ils ont été poursuivis activement et terminés en juillet 1971. Dans ces deux salles, on a encore augmenté l'espace disponible en construisant, sur une partie de leur étendue, un autre plancher situé aux trois cinquièmes de la hauteur de la salle.

La salle 4 est maintenant affectée aux mesures de force électromotrice et à l'effet Josephson; au fond de la salle, on a construit une cabine isotherme pour la conservation des éléments Weston. Le sous-sol est destiné à l'étude des lasers; les murs et le plafond de cette pièce sont recouverts d'un revêtement isotherme; deux tables de laboratoire d'une superficie de 3 et 1,5 m² sont portées par des piliers de maçonnerie.

La salle 5 demeure affectée aux masses; son sous-sol comprend une cabine isotherme où seront installées nos trois meilleures balances.

Ces deux salles sont équipées d'un conditionnement d'air.

La salle 7 est désormais utilisée comme dépôt de matériel divers, rôle précédemment tenu par la salle 8. Cette dernière a été transformée de la manière suivante: la baie de communication vers l'entrée de l'Observatoire a été murée, le sol a été élevé au niveau du couloir de l'Observatoire, et une cloison divise la salle en deux pièces, l'une destinée aux évaporateurs sous vide, l'autre à la distillation de l'eau et aux nettoyages à la vapeur d'eau.

Les travaux nécessaires de plomberie, d'électricité et de peinture ont été exécutés dans les salles 4, 5, 7 et 8; les sols des salles 4, 5 et 8 ont été

recouverts de linoléum. L'entrée et le couloir principal de la partie ancienne de l'Observatoire, ainsi que les deux grandes portes extérieures, ont été repeints.

Grand Pavillon

Le nouveau procédé utilisé en 1970 pour l'exécution d'une première tranche de travaux de ravalement a donné satisfaction; aucune trace d'humidité n'est réapparue sur les murs ainsi traités.

Les travaux ont été poursuivis d'avril à juillet 1971 par le même procédé et ont porté sur le mur au sud, la partie sud de la façade sur le jardin fleuriste, la partie centrale et la partie sud de la façade sur la cour. Toutefois sur la partie haute du mur au sud, le revêtement en plâtre en très mauvais état a été enlevé et remplacé par un enduit en mortier de ciment.

Les quatre colonnes en marbre blanc qui ornent la façade sur cour ont été poncées afin de leur restituer leur aspect d'origine.

Dans la courette entre le Grand et le Petit Pavillon, les parties basses des murs ont été réparées au ciment, ainsi que les marches défectueuses de l'escalier montant vers la cour. Le revêtement de cette cour, abîmé à la suite de poses de canalisations, a été remis en état.

III. — INSTRUMENTS ET TRAVAUX

Remarques générales

Grâce à la bienveillance du National Bureau of Standards des États-Unis, le Bureau International dispose de deux instruments très importants pour ses travaux concernant deux grandeurs fondamentales, les longueurs et les masses. Ce sont :

— un laser He-Ne stabilisé par absorption saturée, émettant une radiation à la longueur d'onde de $3,39 \mu\text{m}$ (raie d'absorption du méthane); la longueur d'onde de cette radiation a été mesurée par référence directe à celle de la radiation du krypton de la définition du mètre;

— une balance pour la comparaison des étalons de masse de 1 kg, plus précise et d'un emploi plus rapide que notre balance Rueprecht; elle n'a pas encore été installée à son emplacement définitif, mais son fonctionnement est déjà éprouvé par des essais.

Une transformation interne d'une partie des bâtiments construits en 1876 est presque achevée; elle a été entreprise afin de fournir un plus grand espace disponible, et surtout pour assurer une meilleure stabilité mécanique et thermique dont le besoin se faisait sentir, en raison des exigences accrues de précision, principalement pour les pesées et pour la conservation des étalons de force électromotrice. Ces aménagements permettront aussi d'installer les appareils pour les études sur la fabrication, la stabilisation et les applications métrologiques des lasers à gaz, le contrôle de la permanence des étalons de force électromotrice par l'effet Josephson, la purification de l'eau (distillation et congélation) et le nettoyage des étalons de masse.

Les travaux métrologiques se sont poursuivis normalement et avec succès dans tous les domaines: longueurs, grandeurs électriques, mesure de g , pyrométrie, mesure de l'exposition au rayonnement γ du faisceau

de référence ^{60}Co du Bureau International, mesures neutroniques, mesure absolue des énergies α , etc.

Tous ces travaux sont menés en liaison très étroite avec les laboratoires nationaux, grâce aux relations personnelles qui s'établissent pendant les visites réciproques, lors des réunions des Comités Consultatifs et des Groupes de travail, et par correspondance. Cette liaison est indispensable pour que les directions de travail du Bureau International soient choisies de la façon la plus profitable à la communauté et pour que ces travaux soient menés avec une bonne efficacité.

Dans l'exposé qui suit, les noms de ceux qui ont pris une part prépondérante aux travaux décrits sont cités entre parenthèses. L'astérisque (*) placé après un nom signale une personne qui ne fait pas partie du personnel permanent du Bureau International : physiciens ayant effectué un stage au Bureau, membres du groupe de Recherche de Dosimétrie (Paris) qui travaillent au Bureau International conformément à l'arrangement conclu avec le Ministère français des Affaires Sociales (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 32, 1964, p. 14).

Longueurs

Comparateur photoélectrique et interférentiel (P. Carré, J. Hostache)

Nous avons utilisé systématiquement la méthode du comptage de franges d'interférence d'un laser hélium-néon stabilisé et étalonné. Cette méthode permet non seulement les étalonnages de règles divisées, mais également leur mesure absolue puisqu'elle permet de déterminer la partie entière de l'ordre d'interférence observé avec la radiation étalon primaire.

Cette méthode a été également appliquée à la détermination de deux Mètres prototypes en platine iridié du Bureau International et du Mètre International lui-même.

Enfin, nous avons apporté quelques modifications au système de climatisation et nous avons mis en service et utilisé pour la plupart de ces études un dispositif d'enregistrement automatique des résultats de certaines mesures.

Climatisation. — La difficulté d'abaisser rapidement la température de la salle du comparateur jusque vers 18 °C pour les études de dilatation, pendant les jours les plus chauds de l'été, nous a amenés à faire installer un évaporateur supplémentaire directement dans la gaine du dispositif de climatisation.

Cet évaporateur, normalement hors circuit, peut être mis en service très rapidement en cas de nécessité.

Enregistrement automatique sous forme numérique des résultats de certaines mesures. — Les élongations des enregistrements graphiques nécessaires à la détermination des excédents fractionnaires sont maintenant échantillonnées avec une période d'environ 0,5 s. Un convertisseur analogique-numérique à 4 096 points fournit ces élongations sous forme numérique et commande une perforatrice de cartes (I.B.M. modèle 545).

Une colonne (12 positions binaires) est ainsi perforée pour chaque échantillon. Les cartes obtenues, au nombre d'une centaine pour une série de mesures, sont lues par notre ordinateur ce qui permet de calculer la valeur moyenne de l'élongation et l'amplitude des fluctuations pour chaque pointé.

La résolution a ainsi été améliorée par rapport au dépouillement manuel des enregistrements graphiques et les risques d'erreur de dépouillement ont été supprimés.

Mètre International \mathfrak{M} (1889) (J. Hamon, P. Carré)

Équation. — Conformément à l'autorisation donnée par le C.I.P.M. en 1969 (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 37, 1969, p. 29), le Mètre International \mathfrak{M} (1889) a été extrait du Caveau pour être mesuré directement en longueurs d'onde du krypton 86. Cette opération et la mise en place de \mathfrak{M} dans le comparateur photoélectrique ont eu lieu le 20 avril 1971 en présence de Mr Maréchal, membre du C.I.P.M.

L'étude a été effectuée durant les mois d'avril et mai, et \mathfrak{M} a été replacé dans le Caveau le 22 juin 1971.

L'alignement de \mathfrak{M} sous les microscopes, la mise au point et le réglage de la longueur du spot explorateur ont été effectués par des observateurs différents pour deux groupes de mesures comprenant chacun huit séries.

La température moyenne des mesures a été 19,998 °C (premier groupe : 20,006 °C, second groupe : 19,991 °C).

La moyenne des résultats obtenus pour les seize séries est :

$$\mathfrak{M} = 1 \text{ m} + 173,396 \text{ } \mu\text{m} \text{ à } 20 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (E.I.P.T.-1968)}.$$

L'équation précédemment admise pour \mathfrak{M} en fonction de l'unité qu'il définissait lui-même à 0 °C et de la température :

$$\mathfrak{M} = l_0 + at + \beta t^2,$$

avec

$$l_0 = 1 \text{ m}, \quad a = 8,621 \text{ } \mu\text{m} \cdot \text{K}^{-1}, \quad \beta = 0,001 \text{ } 80 \text{ } \mu\text{m} \cdot \text{K}^{-2},$$

donne pour $t = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$:

$$\mathfrak{M} = 1 \text{ m} + 173,140 \text{ } \mu\text{m} \text{ à } 20 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

L'écart de + 0,256 μm représente la différence entre l'ancienne (1889) et la nouvelle (1960) unité de longueur.

Si l'on traite séparément les deux groupes de mesures on trouve, pour chaque groupe, un écart-type de la moyenne de 0,015 μm alors que les moyennes elles-mêmes présentent un écart de 0,060 μm . Cet écart est très probablement dû pour une part importante au fait que dans le second groupe (qui a donné les résultats les plus faibles) la longueur du spot explorateur était légèrement plus petite que dans le premier groupe. Une étude complémentaire a été effectuée pour préciser ce point.

Influence de la longueur du spot explorateur. — Au moyen des deux microscopes pointant l'un le trait A et l'autre le trait B de \mathfrak{M} , on peut déterminer la variation de position apparente de l'un des traits lorsqu'on change la longueur du spot qui l'explore, en maintenant constante la longueur du spot qui explore l'autre trait.

En combinant pour chaque trait les résultats obtenus avec l'un ou l'autre microscope, avec oculaire à l'avant ou à l'arrière, pour les deux positions AB et BA de la règle par rapport au comparateur, on peut trouver la position apparente de chaque trait par rapport à une origine arbitraire en fonction de la longueur du spot explorateur.

La figure 1 donne ces positions. On y a fait figurer également la différence des positions des traits B et A qui représente les variations de la longueur apparente de \mathfrak{M} en fonction de la longueur du spot explorateur.

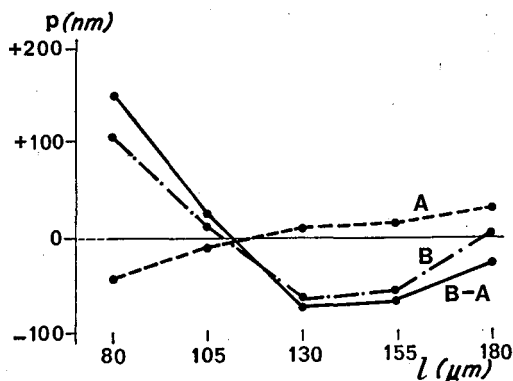


Fig. 1. — Position apparente p des traits A et B du Mètre International \mathfrak{M} (1889) en fonction de la longueur l du spot explorateur du microscope photoélectrique.

Cette étude montre la difficulté qu'il y a à pointer au moyen de microscopes photoélectriques des règles possédant des lignes de foi continues, plus particulièrement lorsqu'il s'agit de tracés anciens, moins réguliers que les tracés récents. Elle explique bien le sens de l'écart entre les deux groupes de mesures indiqué plus haut. Elle confirme l'intérêt du tracé spécial des lignes de foi décrit en 1968 (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 36, 1968, p. 35) à propos de la règle en acier nickelé N° 12 924.

Étalons à traits et à bouts (P. Carré, J. Hamon)

Mètres prototypes d'usage du B.I.P.M.

Nous avons poursuivi l'étude des prototypes d'usage du B.I.P.M. au moyen du comparateur photoélectrique et interférentiel (Voir Rapport 1970, p. 40).

Mètres prototypes N° 13 et T 3. — Le prototype N° 13 définit un intervalle de 1 m à 0 °C; le prototype T 3 porte trois traits définissant un intervalle de 1 m à 20 °C et un intervalle de 1 m à 0 °C. Douze séries de mesures ont été effectuées sur chacun de ces prototypes.

Les résultats obtenus en 1971 sont :

$$\begin{aligned} \text{N}^\circ 13 &= 1 \text{ m} + 173,670 \text{ } \mu\text{m} \text{ à } 20 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (E.I.P.T.-1968)} \\ \text{T 3} &\left\{ \begin{array}{l} (20) = 1 \text{ m} + 0,136 \text{ } \mu\text{m} \\ (0) = 1 \text{ m} + 173,042 \text{ } \mu\text{m} \end{array} \right\} \text{ à } 20 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (E.I.P.T.-1968)} \end{aligned}$$

Les valeurs admises en 1957 à la suite des mesures faites au comparateur normal à microscopes visuels étaient :

$$\begin{aligned} \text{N}^\circ 13 &= 1 \text{ m} + 173,390 \text{ } \mu\text{m} \text{ à } 20 \text{ }^\circ\text{C} \\ \text{T 3} &\left\{ \begin{array}{l} (20) = 1 \text{ m} - 0,26 \text{ } \mu\text{m} \\ (0) = 1 \text{ m} + 172,700 \text{ } \mu\text{m} \end{array} \right\} \text{ à } 20 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Récapitulation. — Le tableau I donne les valeurs de la différence entre l'ancienne (1889) et la nouvelle (1960) unité de longueur, telles qu'elles

sont déduites de la détermination des quatre Mètres prototypes d'usage du B.I.P.M.

TABLEAU I

Prototype	Nombre de mesures	1 m(1889) — 1 m(1960)
N° 19 { (20)	8	+ 0,125 μm
{ (0)	8	+ 0,084
N° 26	12	+ 0,215
N° 13	12	+ 0,280
T 3 { (20)	12	+ 0,396
{ (0)	12	+ 0,342

La moyenne, calculée en attribuant le même poids à chaque prototype, fournit la valeur + 0,242 μm à rapprocher du résultat obtenu directement avec l'ancien Prototype international du mètre \mathfrak{M} (+ 0,256 μm).

Règles divisées

Règle N° 12 925 de 1 m (Canada). Cette règle avait précédemment été déterminée au N.R.C. (Canada) et au N.S.L. (Australie); nous avons effectué 20 séries de mesures (équation de la division principale et position du trait 500), puis nous l'avons envoyée à la P.T.B. (Allemagne). Les résultats de cette comparaison circulaire ne sont pas encore connus.

Règle N° 15 481 (Irlande). Après nettoyage de la surface tracée nous avons constaté sur celle-ci la présence de rayures qui nous ont amenés à la réexpédier à son fabricant. Nous avons toutefois pu déterminer le coefficient de dilatation.

Règles de 200 mm N° 16 223 et N° 16 221 (Centre National d'Études Spatiales, Brétigny et Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin). Ces règles sont destinées à équiper deux manobaromètres interférentiels. Nous avons déterminé leurs équations à 20 °C et effectué l'étalonnage de tous les traits centimétriques et des traits millimétriques et demi-millimétriques de 185 mm à 195 mm.

Projet de dilatomètre interférentiel

Cette étude, dont il a été fait mention dans le Rapport de 1970, p. 41, a été poursuivie. On a en particulier cherché un procédé pour compenser la dilatation apparente de l'interféromètre (variations d'épaisseur et d'indice de réfraction des lames de silice traversées par l'un des faisceaux seulement). Les calculs préliminaires ont montré qu'on peut espérer réaliser une auto-compensation approchée. Un modèle d'essai est en construction.

Base géodésique (F. Lesueur, C. Garreau, G. Girard)

Mesure interférentielle de la règle I 5 de 4 m

La 52^e équation de cette règle en invar a été déterminée sur l'intervalle (8-16) m de la base géodésique. Le résultat des huit mesures effectuées est :

$$I 5 = 4 \text{ m} + 48,3 \mu\text{m} \text{ à } 0 \text{ °C (octobre 1970)}$$

(en septembre 1967 la longueur de cette règle était : 4 m + 47,4 μm à 0 °C).

Fils et rubans géodésiques

Pendant la période que couvre ce Rapport 30 fils ou rubans de 4, 8, 24 et 35 m ont été étalonnés pour l'Angola, la France, la Grèce et la Répu-

blique Arabe Unie. On a également déterminé le coefficient de dilatation de huit fils de 24 m (R.A.U.) et de deux longueurs de 24 m (Organisation Européenne de Recherche Nucléaire [CERN]).

Livraison d'invar géodésique

Les demandes de fil ou de ruban d'invar sont toujours nombreuses, ce qui nous a amenés à demander à Creusot-Loire (Acieries d'Imphy) de préparer une très importante livraison d'alliage (200 kg).

Le traitement thermique en cours sur 185 kg d'invar nous a conduits à déterminer huit fois des coefficients de dilatation sur divers échantillons.

Interférométrie

Mesures de longueurs d'onde de lasers

Laser à $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ asservi sur une raie d'absorption saturée du méthane (J. Hamon, P. Giacomo)

La mesure de la longueur d'onde de ce laser, apporté au B.I.P.M. par R. L. Barger en août 1970 (Rapport de 1970, p. 41), a été poursuivie.

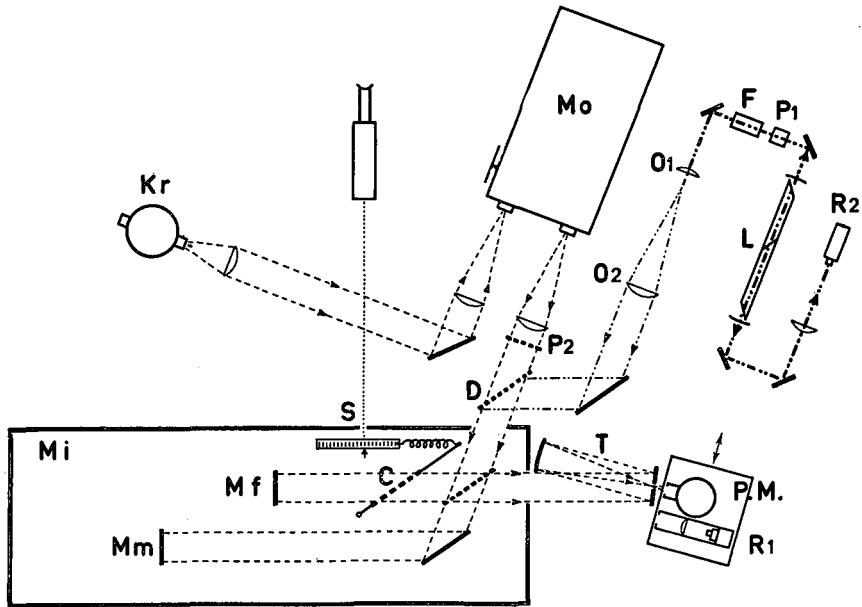


Fig. 2. — Schéma optique de l'installation pour la mesure de la longueur d'onde du laser à $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$.

C, lame compensatrice; D, Miroir dichroïque; F, Rotateur de Faraday; Kr, Lampe à krypton 86; L, Laser à $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$; Mf, Miroir fixe; Mi, Interféromètre de Michelson sous vide (diamètre des diaphragmes d'entrée et de sortie : 27 mm); Mm, Miroir mobile; Mo, Monochromateur à réseau; O1, O2, Système optique transformateur d'étendue; P1, Polariseur (Glazebrook); P2, Polariseur (polaroïd); P.M., Photomultiplicateur pour la lumière visible (mesure de phase); R1, Récepteur pour $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ (mesure de phase); R2, Récepteur pour l'asservissement du laser; S, Système de commande et de lecture des petites rotations de la compensatrice; T, Optique à miroirs de sortie (obturation centrale sur un diamètre de 5 mm; diaphragme isolateur au foyer de diamètre 0,2 mm, longueur focale 0,6 m).

Cette mesure est effectuée par comparaison à la longueur d'onde de la radiation étalon du krypton 86 au moyen de l'interféromètre de Michelson réglé à une différence de marche de ± 375 mm et maintenu sous vide. Le schéma optique de l'installation est représenté sur la figure 2. Nous avons effectué seize séries de mesures comprenant chacune dix pointés de l'ordre d'interférence pour la radiation laser et pour la radiation étalon, afin d'interpoler les dérives. Ces séries forment cinq groupes; entre chacun de ces groupes, le réglage de l'alignement des faisceaux a été refait et certaines parties du montage ont parfois été modifiées (diaphragme, trou explorateur, fenêtres du caisson à vide, récepteur infrarouge). On a obtenu les résultats suivants :

TABLEAU II

Série N°	λ_{vide} (nm)	σ_m (fm)	Moyennes pondérées (nm)
5	3 392,231 404	22	3 392,231 366
7	343	30	
8	405	27	
9	328	19	
11	393	7	385
12	390	9	
13	382	6	
14	379	6	
15	359	5	361
16	375	12	
17	392	16	389
18	385	16	
19	351	12	375
20	374	12	
21	382	9	
22	400	17	
Moyenne générale pondérée			3 392,231 376 nm
Écart-type de la moyenne			4 fm

Sept séries auxiliaires, aux différences de marche ± 10 mm et ± 100 mm, ont confirmé l'absence d'erreur sur la partie entière des ordres d'interférence.

On a surtout poursuivi l'étude expérimentale des causes d'erreurs systématiques éventuelles (Rapport 1970, p. 42).

1° *Défauts de linéarité.* L'effet de la non-linéarité de la commande de la compensatrice est corrigé dans le calcul des ordres d'interférence. Un léger défaut de linéarité a été constaté pour l'ensemble récepteur-amplificateur; il fait également l'objet d'une correction. Les erreurs résiduelles provenant de ces deux effets ne doivent pas dépasser 2×10^{-9} et sont aléatoires, comme la partie fractionnaire des ordres d'interférence mesurés.

2° *Obliquité des faisceaux.* L'ouverture du diaphragme isolateur (diamètre = 0,2 mm) pourrait entraîner une correction d'obliquité maximale de 7×10^{-9} si l'on admet que la radiation du krypton l'éclaire uniformément et que le faisceau laser passe rigoureusement en son centre; ce n'est certainement pas le cas : la diffraction et les aberrations donnent une tache focale d'au moins 0,2 mm de diamètre pour $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$. On a

vérifié qu'avec un diaphragme isolateur de diamètre 0,1 mm (séries 13 et 14) la longueur d'onde mesurée reste la même et que la diminution du signal photoélectrique est bien du même ordre de grandeur pour la radiation laser et pour celle du krypton. On peut évaluer à 1×10^{-9} la limite supérieure de l'erreur systématique due à l'obliquité des faisceaux.

3° *Uniformité d'éclairement.* La répartition de la densité de flux à l'entrée de l'interféromètre diffère notablement pour les deux radiations à comparer. Cette différence, conjuguée avec les défauts de planéité ou de parallélisme des miroirs et avec un défaut d'alignement de la translation ou un défaut de focalisation, pourrait entraîner des erreurs systématiques. On a essayé de mettre en évidence ces erreurs éventuelles en exagérant délibérément les différences entre les deux répartitions de densité de flux à l'aide de diaphragmes placés uniquement sur le faisceau laser. Dans un premier groupe de mesures, on a obturé la moitié du faisceau laser en haut puis en bas, à gauche puis à droite. La moyenne de ces mesures donne $\lambda = 3\,392,231\,388$ nm, avec un écart-type de 8 fm; la différence maximale (haut—bas) est inférieure à 60 fm, soit 2×10^{-8} .

Compte tenu de la sévérité de ce test, nous pensons que les erreurs systématiques liées à un défaut de symétrie de l'éclairement sont négligeables.

Dans un second groupe de mesures, on a limité le faisceau laser à l'aide de diaphragmes circulaires :

- a) diaphragme habituel, diamètre = 27 mm
- b) diaphragme de diamètre = 18 mm
- c) diaphragme de diamètre = 13,5 mm
- d) diaphragme de diamètre = 27 mm avec obturation centrale par un disque de diamètre 15 mm.

Les écarts obtenus correspondraient, pour la mesure de λ , aux différences moyennes suivantes, avec leurs écarts-types :

Diaphragmes	Différence	Écart-type
$b - a$	0	2×10^{-9}
$c - a$	-6×10^{-9}	1×10^{-9}
$d - a$	0	1×10^{-9}

On a vérifié qu'avec les mêmes diaphragmes les effets sont négligeables pour la radiation du krypton (maximum $+2 \times 10^{-9}$ pour la différence $c - a$).

Ici encore, l'effet des différences d'uniformité de l'éclairement doit rester négligeable.

En conclusion, nous pensons actuellement que, d'après les résultats de nos mesures, la valeur de la longueur d'onde dans le vide du laser asservi sur la raie d'absorption saturée du méthane doit être exacte à mieux que 5×10^{-9} près (1).

(1) En admettant, pour la radiation du krypton dans les conditions pratiques d'émission et observée dans l'interféromètre de Michelson à la différence de marche de ± 375 mm, la longueur d'onde $\lambda = 605,780\,208\,5$ nm. (Cette valeur tient compte des effets de la densité de courant et de la pression qui ont été déterminés, pour la lampe utilisée, par extrapolation à pression et courant nuls).

Lasers à $\lambda = 633$ nm (J. Hamon, A. Sakuma, J.-M. Chartier)

Nous avons acheté un troisième laser He-Ne (Spectra-Physics, modèle 119) dont nous avons mesuré la longueur d'onde par rapport à celle du krypton 86 :

Laser N° 3 $\lambda_{\text{vide}} = 632,991\ 401$ nm (février 1971).

A cette occasion, nous avons vérifié la longueur d'onde de nos deux autres lasers du même type. Les valeurs obtenues depuis le début de 1969 indiquent des dérives remarquablement parallèles portant sur les deux derniers chiffres significatifs :

TABLEAU III

$$\lambda_{\text{vide}} = 632,991\ 410 \text{ nm} + \varepsilon$$

	Laser N° 1		Laser N° 2	
	durée de fonctionnement (h)	ε (fm)	durée de fonctionnement (h)	ε (fm)
Mars 1969	100	0	240	0
Janvier 1970	500	5	480	4
Février 1971	1 125	10	1 000	10

Par ailleurs, afin de nous familiariser avec les problèmes propres à ces sources et dans le but d'étudier les lasers stabilisés par absorption saturée, nous avons entrepris la construction de quelques lasers He-Ne. Dans un premier temps, nous essaierons de les asservir sur le « Lamb-dip » d'émission. Trois lasers monomodes construits au B.I.P.M. fonctionnent. Leur stabilité thermique a été étudiée et améliorée : les variations de longueur d'onde n'excèdent pas $\pm 4 \times 10^{-8}$ sur plusieurs heures. Le dispositif d'asservissement est en cours d'étude.

Étude de filtres interférentiels (J. Hamon)

L'étude de l'un des filtres utilisés en pyrométrie a été reprise (voir Thermométrie p. 40).

Masses (G. Girard)

Les travaux de transformation et d'aménagement de la salle 5 et de son sous-sol (salle 105) ont été terminés en juin 1971.

Le niveau des vibrations a été vérifié à l'aide d'un bain de mercure posé sur le sol ou sur les piliers de la salle 105 qui font partie d'un même ensemble. On a constaté que ce niveau est très faible et très inférieur à celui qu'on observe en général sur les piliers de l'Observatoire. De ce point de vue, tout porte à penser que les balances qui seront installées dans cette salle pourront fonctionner dans de très bonnes conditions.

Balance NBS-2

Les premières pesées ont été effectuées avec cette balance (Rapport 1970, p. 43) installée provisoirement dans la salle 6 (Interférométrie).

Malgré des conditions ambiantes, surtout thermiques, qui n'étaient pas excellentes, nous avons pu faire un certain nombre de pesées pour nous assurer du bon fonctionnement et de la fidélité de la balance.

Quatre Kilogrammes en acier inoxydable (N 2, N 3, U. et U 4) ont été comparés deux à deux dans toutes les combinaisons possibles en utilisant le contrepois en acier inoxydable. Le Kilogramme N 2 était pris comme référence.

Les Kilogrammes N 2 et N 3 en « Nicral D » ont des volumes pratiquement égaux. Les volumes des Kilogrammes U. et U 4 en « Uranus » sont voisins mais légèrement différents des précédents; la correction différentielle de poussée de l'air est de l'ordre de 2 mg.

Des surcharges étaient disposées sur les masses pour amener la balance à l'équilibre, à 0,5 mg près.

Les résultats obtenus jusqu'ici sont rassemblés dans la figure 3.

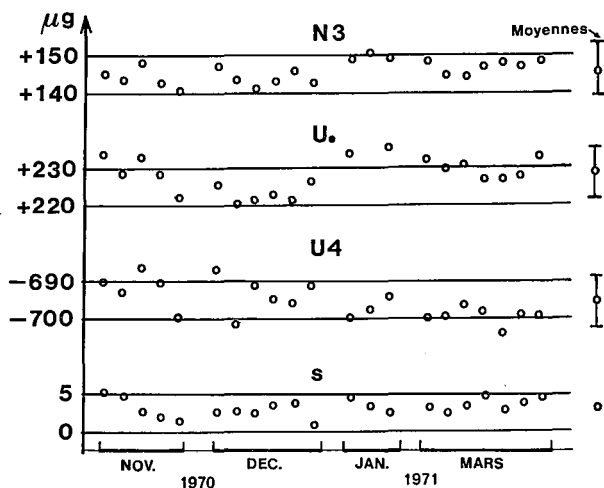


Fig. 3. — Essais de la balance NBS-2 (installation provisoire) : Masses des Kilogrammes N 3, U., U 4, déduites de celle du Kilogramme N 2, d'après 21 pesées successives.

Chaque pesée comprend les six comparaisons des quatre Kilogrammes pris deux à deux. On a indiqué seulement l'excès de la masse par rapport à la valeur nominale de 1 kg. Pour chaque pesée, on a également donné l'écart-type s d'une comparaison entre deux Kilogrammes.

Pour ce type de comparaisons et pour un taux de confiance de 99,7 % l'incertitude sur la masse de chaque Kilogramme est en moyenne de $\pm 6,7 \mu\text{g}$ pour une pesée.

Les performances de cette balance sont donc déjà très satisfaisantes et nous espérons qu'elles seront améliorées quand cet instrument sera définitivement installé.

Six séries de masses en « monel » (100 à 1 mg) ont été achetées en vue de leur utilisation lors des comparaisons de Kilogrammes en platine et en acier inoxydable.

Le baromètre anéroïde fourni avec la balance NBS-2 a été comparé

avec un baromètre à mercure dans la plage des pressions atmosphériques courantes au Bureau.

L'humidité à l'intérieur de la balance NBS-2 sera mesurée à l'aide d'un hygromètre électrique fourni avec cette balance. Les deux hygromètres Shaw utilisés couramment ont été remis en état par leur constructeur; ils permettront d'utiles recoupements.

Gravimétrie (A. Sakuma, M. Duhamel*, J.-M. Chartier)

Détermination absolue de g

Nous avons déjà signalé que les valeurs moyennes de g observées depuis août 1967 jusqu'à 1970, à notre point de mesure A2, restaient constantes à environ $\pm 1 \times 10^{-8}$ près. Avec l'augmentation de la précision de nos mesures, les variations observées, qui atteignent $(+ 22 \pm 5) \times 10^{-9}$ entre août 1970 et août 1971, doivent être considérées comme significatives.

Toutes les vérifications que nous avons pu effectuer nous ont confirmé que notre gravimètre fonctionne correctement, sans aucune évolution décelable, depuis plus de trois ans. Nous estimons donc que l'augmentation de g observée durant l'année écoulée est bien due à des phénomènes géophysiques.

Une étude sérieuse de ces phénomènes demande évidemment plusieurs années d'observations et la confrontation des résultats de mesures à effectuer dans d'autres observatoires, en différents points du Globe (²).

En parallèle avec les mesures périodiques de g , nous avons poursuivi l'amélioration de notre appareil prototype afin d'accroître l'exactitude des mesures; cela nous permet également de conseiller plus utilement les laboratoires qui envisagent de constituer des stations permanentes de gravimétrie absolue utilisant des appareils fondés sur le même principe.

(²) A la 15^e Assemblée Générale de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale (Moscou, août 1971), la section de gravimétrie de l'Association Internationale de Géodésie a adopté à l'unanimité le Vœu N° 13 suivant :

L'Association Internationale de Géodésie,

considérant

— qu'un appareil perfectionné pour la mesure absolue de g a été construit par le Bureau International des Poids et Mesures,

— que cet appareil offre la possibilité de déceler les petites variations de g provenant de diverses causes, y compris les effets séculaires dont la tendance a été détectée pour la première fois par des mesures absolues,

— que cette station (Sèvres, point A) a déjà été utilisée comme point de départ de réseaux gravimétriques,

recommande

— que l'appareillage du Bureau International des Poids et Mesures soit maintenu et, si possible, amélioré et qu'on exécute les mesures absolues qui sont nécessaires pour satisfaire les besoins mentionnés ci-dessus,

— qu'on demande au Bureau International des Poids et Mesures de recevoir à Sèvres non seulement des gravimètres mais aussi des appareils de mesure absolue de la pesanteur afin que les résultats qu'ils fournissent à Sèvres, point A, puissent être comparés à la valeur obtenue avec l'appareil du Bureau International des Poids et Mesures.

Grâce à ces améliorations, la mesure de g peut être faite actuellement par un seul opérateur, sans être obligé d'attendre la tranquillité nocturne, à la cadence d'un lancer toutes les 10 à 15 minutes. La durée du dépouillement et du calcul de g , qui était d'environ deux heures pour une mesure, a été ramenée à 30 minutes.

Dans le cadre de la collaboration internationale, la construction du gravimètre absolu portable de l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti (Turin) se poursuit; les éléments mécaniques et électroniques construits par cet Institut seront assemblés prochainement au Bureau avec la partie interférentielle que nous avons construite.

Une maquette de gravimètre portable construite par la Société Thomson-C.S.F. (Paris) sera transférée prochainement au Bureau pour vérification de son exactitude et étude de sa précision.

Valeurs de g d'août 1970 à août 1971

Les valeurs moyennes de g au point de mesure A2, après correction théorique de l'effet luni-solaire ⁽³⁾, et les écarts-types d'une mesure sont pour cette période :

TABLEAU IV

$g_{A2} =$	{	(	9,809 256 57 ₄ ±	0,000 000 02 ₀)	m/s ²	(août 1970)
		(	45 ₃ ±	02 ₂)		(octobre 1970)
		(	79 ₆ ±	06 ₀)		(janvier 1971)
		(	74 ₇ ±	09 ₇)		(février 1971)
		(	71 ₀ ±	08 ₇)		(mai 1971)
		(	80 ₁ ±	06 ₂)		(juin 1971)
		(	80 ₀ ±	02 ₁)		(fin juin 1971)
		(	76 ₇ ±	05 ₅)		(juillet 1971)
		(	79 ₄ ±	03 ₈)		(2 ^e moitié d'août 1971)

Chaque moyenne porte sur une cinquantaine de mesures, généralement distribuées de façon irrégulière dans un mois, sauf la dernière qui porte sur 20 mesures pendant quatre jours. Les deux discordances significatives de g observées pour la première fois en octobre 1970, puis en janvier 1971, restent actuellement inexplicables; nous espérons que les améliorations apportées à notre appareil donneront des informations plus précises sur ce genre de variations, en permettant des mesures plus fréquentes sans perte de précision.

Neutralisation des microséismes à longue période

Le dispositif pour la neutralisation des microséismes à longue période (Rapport 1969, p. 58) n'avait pas encore pu être mis en œuvre. On devait ajouter les effets de deux signaux électriques de compensation provenant de deux détecteurs différents, l'un de quelques dizaines de volts pour les vibrations de courtes périodes (0,02 à 0,2 s), l'autre allant jusqu'à quelques centaines de volts pour les vibrations de longues périodes (2 à 7 s). Dans

⁽³⁾ Nous sommes reconnaissants au Prof. Lecolazet, de l'Institut de Physique du Globe (Strasbourg) et au Service Hydrographique de la Marine (Paris), qui nous ont fourni des tables des marées gravimétriques pour 1970-1972 arrondies au dixième de microgal.

l'ancien montage, ces deux signaux devaient être appliqués aux mêmes crapaudines piézoélectriques; la réalisation d'un mélangeur s'était révélée difficile.

Un nouveau montage vient d'être réalisé; l'efficacité de la neutralisation des microséismes à longue période a été confirmée par la dernière série de mesures de g à la fin de juin 1971.

Le caisson à vide horizontal (Rapport 1967, p. 48) repose sur une table stabilisée supportée par quatre crapaudines piézoélectriques (zirconate-titanate de plomb P4-68, Quartz et Silice, Paris); chacune de ces crapaudines est composée de deux empilements indépendants superposés, l'un destiné à l'asservissement à courte période, l'autre à la neutralisation des vibrations à longue période. Les signaux de neutralisation sont obtenus à l'aide d'un amplificateur potentiométrique (sortie maximale ± 400 V) connecté à un sismomètre vertical à longue période (35 s) placé dans un caisson étanche calorifugé; ce caisson est lui-même posé sur un pilier en béton à côté de la table stabilisée. A cause du taux d'amplification élevé (environ 170 dB), il est indispensable d'utiliser des préamplificateurs de très faible niveau de bruit et de faible dérive thermique.

Grâce à ce montage, les vibrations résiduelles du caisson horizontal sont réduites à quelques pour cent des mouvements du pilier; l'amplitude maximale de neutralisation peut atteindre 6 μm crête à crête, ce qui correspond à l'amplitude du mouvement du sol les jours de tempête. Ainsi nous pourrions désormais poursuivre les mesures de g avec un meilleur rendement et une meilleure exactitude sans attendre des périodes favorables (sauf pendant les tremblements de terre).

Marées gravimétriques

Pour obtenir les valeurs moyennes de g à partir des mesures individuelles, nous ne pouvons actuellement appliquer que des « corrections théoriques » pour tenir compte des marées gravimétriques. Bien que ces corrections soient établies par des spécialistes, on peut soupçonner l'existence d'écarts, dus aux facteurs météorologiques, entre les corrections théoriques et les marées réelles. Si l'on admet que la Terre est indéformable, la valeur de g doit augmenter d'environ 6×10^{-9} à Paris pour une dépression barométrique de $1,3 \times 10^3$ Pa (10 mmHg). Une variation de g du même ordre de grandeur peut apparaître, d'après nos calculs, pour une variation de 1 m du niveau de l'eau souterraine.

Pour cette raison, nous avons commencé à construire un gravimètre à ressort destiné aux enregistrements permanents des marées gravimétriques réelles. Des études préliminaires montrent que les deux conditions essentielles sont la stabilisation thermique ($< 0,1$ mK) et la compensation des mouvements du sol. Pour cette réalisation, l'expérience acquise avec notre gravimètre absolu pourra être utilisée efficacement.

Thermométrie

Température thermodynamique du point de congélation de l'or (J. Bonhoure)

On a poursuivi l'étude entreprise dès 1966 en vue de rattacher la température du point de congélation de l'or à la température de référence 630 °C par pyrométrie monochromatique au voisinage de $\lambda = 1 \mu\text{m}$. De

nouvelles mesures ont été effectuées suivant le schéma d'organisation indiqué à la figure 4.

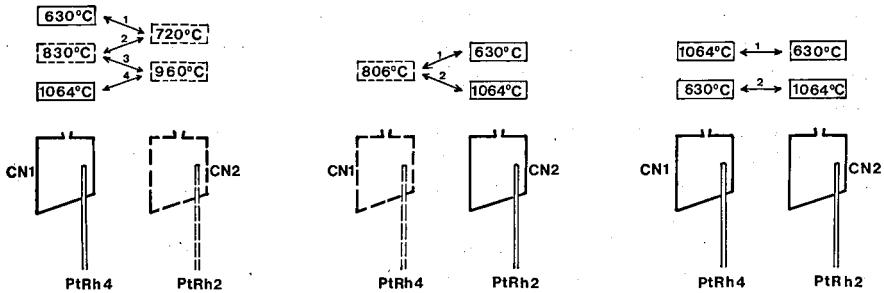


Fig. 4. — Organisation des mesures pour la détermination du point de congélation de l'or par rattachement à la température de 630 °C.

CN 1 et CN 2, Cavités rayonnantes; PtRh 2 et PtRh 4, Thermocouples étalons. (Les éléments qui, théoriquement, s'éliminent dans la comparaison sont représentés en trait interrompu).

Mesures de type A. — Au lieu de comparer directement les luminances énergétiques des cavités rayonnantes CN 1 et CN 2 réglées aux températures de 630 °C et 1 064 °C suivant les indications des thermocouples étalons PtRh 2 et PtRh 4, on procède par étapes successives avec trois températures intermédiaires, 720 °C, 830 °C et 960 °C; dans ces conditions, la cavité CN 2 et le thermocouple PtRh 2 ne jouent aucun rôle, du moins théoriquement.

Cette façon de faire présente l'avantage de réduire le rapport des luminances à mesurer à des valeurs voisines de 4 ou de 2; le diviseur de luminance associé au récepteur photoélectrique (division par 4 ou 2) rend alors toutes les observations proches d'une même valeur et les défauts éventuels de linéarité du dispositif de mesure (tube photoélectrique et potentiomètre) sont ainsi totalement éliminés.

Par contre, la grande constante de temps des fours (12 à 15 heures suivant la température) impose un délai de plusieurs jours à chaque passage d'une température à la température supérieure, ce qui réduit d'autant le nombre de comparaisons possibles pour une durée de vie donnée des fours. De plus, pendant l'élévation de température de l'un des deux fours, la stabilité de l'autre (température du fond de la cavité et uniformité de température le long de l'axe de la cavité) n'est pas parfaite et l'emploi de paliers de température intermédiaires introduit ainsi des incertitudes supplémentaires dans les résultats.

Mesures de type B. — Le principe d'organisation des mesures est le même, mais une seule température intermédiaire subsiste, 806 °C. Les rapports de luminances à mesurer ne sont pas encore très élevés (inférieurs à 4, compte tenu du diviseur de luminance) et les inconvénients indiqués pour les mesures de type A sont fortement diminués. Tout repose ici encore, théoriquement, sur une seule cavité et un seul thermocouple; on a choisi cette fois d'éliminer CN 1 et PtRh 4.

Mesures de type C. — Ces mesures sont faites suivant le principe déjà décrit dans le Rapport de 1970, p. 53; elles ne font appel à aucune température intermédiaire mais impliquent une très bonne connaissance de la linéarité du récepteur pour des rapports de luminance pouvant atteindre 60 (compte tenu du diviseur). Le résultat de ce type de mesures est la moyenne de déterminations faites symétriquement par permutation des températures et des cavités, les deux thermocouples intervenant ici dans chaque détermination.

On a successivement réalisé les trois types de mesures, respectivement en octobre-novembre 1970, janvier-février 1971, et mars 1971, avec les sept filtres interférentiels disponibles dont les pics de transmission sont situés dans le domaine spectral compris entre 943 et 1 060 nm. De plus, à partir des mesures de type B, on disposait d'un filtre passe-haut S qui, associé au filtre 1 060, permet de supprimer une bande de transmission parasite au voisinage de 900 nm; dès lors on a systématiquement effectué les mesures avec le filtre 1 060 seul et avec l'ensemble des filtres 1 060 + S.

Les résultats obtenus sont les suivants :

— Pour un filtre donné, à l'exception toutefois de 1 060, les trois valeurs de la température du point de congélation de l'or correspondant aux types de mesures A, B et C sont en accord à 0,1 K.

— La répartition des écarts de température ΔT (en kelvins) par rapport à la moyenne des valeurs fournies par les sept filtres (Tableau V) confirme celle qui a été obtenue lors des mesures précédentes (Rapport 1970, p. 53, Tableau II).

TABLEAU V

Filtre N°	943	959	975	986	994	1 016	1 060
Type A (oct.-nov. 70)	— 0,19	— 0,14	+ 0,11	— 0,17	— 0,05	+ 0,03	+ 0,47
Type B (jan.-fév. 71)	— 0,25	— 0,21	+ 0,02	— 0,22	— 0,13	+ 0,03	+ 0,75
Type C (mars 1971)	— 0,20	— 0,19	+ 0,04	— 0,20	— 0,09	— 0,04	+ 0,68

L'adjonction du filtre S au filtre 1 060 a révélé l'importance d'une deuxième bande de transmission parasite au-delà de 1 250 nm, bande que l'on croyait totalement éliminée par une sensibilité nulle du récepteur dans ce domaine spectral; il suffit d'admettre une sensibilité résiduelle aussi faible que 6×10^{-6} , en prenant pour unité la sensibilité à 800 nm, pour justifier l'influence énorme de cette bande parasite (3,5 K sur le point de congélation de l'or). Lorsqu'on utilise le filtre 1 060 seul, il y a compensation partielle entre les effets des deux bandes parasites; il est néanmoins évident que les résultats obtenus jusqu'à présent avec le filtre 1 060 sont inutilisables et que l'emploi de ce filtre au cours de mesures ultérieures ne sera possible que si l'on réussit à limiter sa transmission à celle du pic principal.

On a effectué également quelques mesures de contrôle en associant le filtre S aux filtres 975, 994 et 1 016; les valeurs obtenues pour la température du point de congélation de l'or sont en moyenne supérieures de 0,2 K à celles qui correspondent aux filtres utilisés seuls. Cet écart est petit, ce qui semble indiquer qu'il n'y a pas d'anomalie grave dans la transmission des filtres, mais il est cependant significatif; on cherche à l'expliquer soit par un phénomène d'élargissement du pic de transmission

dû aux réflexions multiples entre les filtres, soit par une connaissance insuffisante de la transmission des filtres interférentiels dans les régions spectrales éloignées de la bande passante.

— La détermination de la courbe de transmission d'un filtre avec le monochromateur à réseau du B.I.P.M. ne présente pas de difficulté particulière tant que les transmissions à mesurer ne sont pas inférieures à 1 %, ou même 0,1 %; ensuite, non seulement les lectures deviennent peu précises, mais la lumière parasite risque de jouer un rôle déterminant. On a donc essayé de *calculer* la transmission des pieds des filtres interférentiels sur un très large domaine spectral (660 à 1 340 nm), après avoir vérifié à partir des valeurs mesurées disponibles qu'une décroissance en $(\lambda - \lambda_m)^{-4}$, théoriquement justifiable, était la plus probable (λ est la longueur d'onde et λ_m la longueur d'onde moyenne du pic); on a fait le rattachement aux valeurs mesurées au voisinage de la transmission 1 %.

Les changements qui résultent de ce calcul sont peu significatifs puisque, en moyenne, ils tendraient à augmenter de 0,1 nm la longueur d'onde effective des filtres pour l'intervalle de températures 630-1 064 °C, ce qui correspond à une augmentation de la température du point de congélation de l'or de 0,06 K; de plus, l'accord entre les filtres n'est pas amélioré. On peut toutefois en déduire que la procédure utilisée jusqu'à maintenant, qui consiste à ne considérer que la région voisine du pic de transmission, est suffisante.

— Les expériences faites jusqu'à présent donnent pour la température du point de congélation de l'or une valeur inférieure de quelques dixièmes de kelvin à la valeur assignée dans l'E.I.P.T.-1968; la valeur assignée au point de congélation de l'argent (contrôlée seulement au cours des mesures de type A) serait satisfaisante. On doit toutefois signaler que depuis la fin de ces mesures les thermocouples n'ont pas encore été réétalonnés.

Cette étude sera poursuivie et, au cours des prochaines déterminations, on pense pouvoir disposer de glaces réfléchissant en deçà de 900 nm et au-delà de 1 100 nm, à associer aux filtres existants; l'emploi des filtres sous une incidence légèrement oblique pour sortir la lumière réfléchie de l'étendue géométrique du faisceau sera également essayé. Enfin, une série de mesures après réduction des ouvertures des cavités rayonnantes devrait permettre de vérifier que ces ouvertures n'ont pas d'influence appréciable sur les résultats.

Manométrie (J. Bonhoure)

Manobaromètres interférentiels

Deux appareils, identiques à celui du B.I.P.M., ont été mis en service, l'un à la Direction Technique des Constructions Aéronautiques à Brétigny (France) en décembre 1970, l'autre à l'Istituto Termometrico Italiano à Turin (Italie) en mai 1971. Conformément aux accords antérieurs, le B.I.P.M. a procédé dans chaque cas au montage et au réglage de la partie interférentielle de ces deux appareils.

Les mesures de pression nécessitent l'observation de la frange « achromatique » qui apparaît sur l'écran d'un oscilloscope sous la forme d'un fuseau de quelques franges. Or, on s'est aperçu que le fuseau *calculé* dans le cas où la pression à mesurer est de 101 325 Pa n'était pas conforme au fuseau observé sur l'oscilloscope; le calcul, fait en prenant pour l'indice de

réfraction de l'azote les valeurs de Scheel (1907) prévoyait environ quinze franges alors qu'on en observe six ou sept. Peck et Khanna (*J.O.S.A.*, **56**, 1966, p. 1059) ont redéterminé récemment l'indice de réfraction de l'azote et l'ont trouvé moins dispersif; en utilisant ces nouvelles valeurs, l'accord devient satisfaisant. Ce changement d'indice modifie les valeurs des pressions d'une quantité qui n'excède jamais 0,4 Pa.

Électricité (G. Leclerc)

Enceinte à air thermorégulée pour la conservation des étalons de force électromotrice de référence du B.I.P.M.

Cette enceinte (*fig. 5 et 6*) est constituée d'une série de cubes, les uns à parois métalliques, les autres à parois thermiquement isolantes (polystyrène expansé de 7 cm d'épaisseur) emboîtés les uns dans les autres.

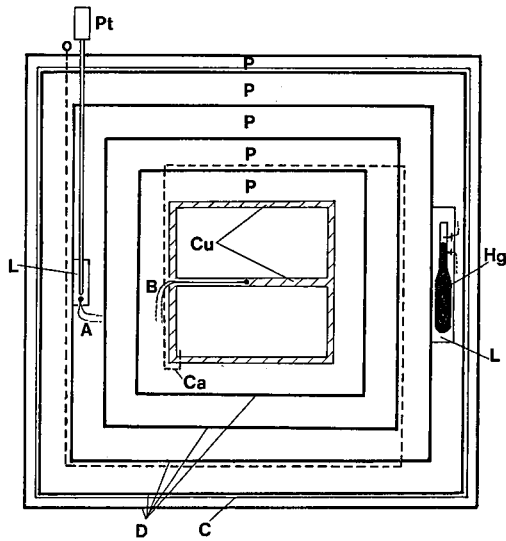


Fig. 5. — Enceinte à air thermorégulée pour piles étalons (coupe schématique).

A, B, Soudures des thermocouples; C, Enroulement chauffant et son isolement en plexiglas; Ca, Un des 97 conducteurs reliant les piles aux bornes extérieures; Cu, Parois en cuivre de la chambre intérieure dans laquelle sont placées les piles étalons; D, Parois en duralumin; Hg, Thermomètre à mercure à contact (régulation thermique); L, Blocs de laiton; P, Couches d'isolement en polystyrène expansé; Pt, Thermomètre à résistance de platine.

Le cube intérieur, à parois épaisses (10 mm), est en cuivre rouge; il a environ 32 cm d'arête intérieure. Les autres cubes métalliques sont en duralumin de 5 mm d'épaisseur. Le cube le plus extérieur est métallique et a environ 1 m de côté.

L'enceinte, placée dans une salle thermorégulée à 20 °C, est maintenue à une température voisine de 21 °C au moyen d'un chauffage électrique de 10 W uniformément réparti sur les six faces de l'avant-dernier cube métallique extérieur. Le fil chauffant, placé entre deux feuilles minces de plexiglas qui assurent son isolement électrique, est parcouru pendant les périodes de chauffage par un courant continu de 0,2 A. Les conducteurs

sont disposés de telle façon que le champ magnétique créé par ce courant soit nul.

La température de l'enceinte est contrôlée au moyen d'un thermomètre à mercure à contact. Elle est mesurée à l'aide d'un thermomètre à résistance de platine et de couples thermoélectriques cuivre-constantan.

L'enceinte peut contenir 96 piles. Celles-ci sont réparties par groupes de 6 dans 16 blocs en duralumin (*fig. 6 et 7*) qui remplissent très exacte-

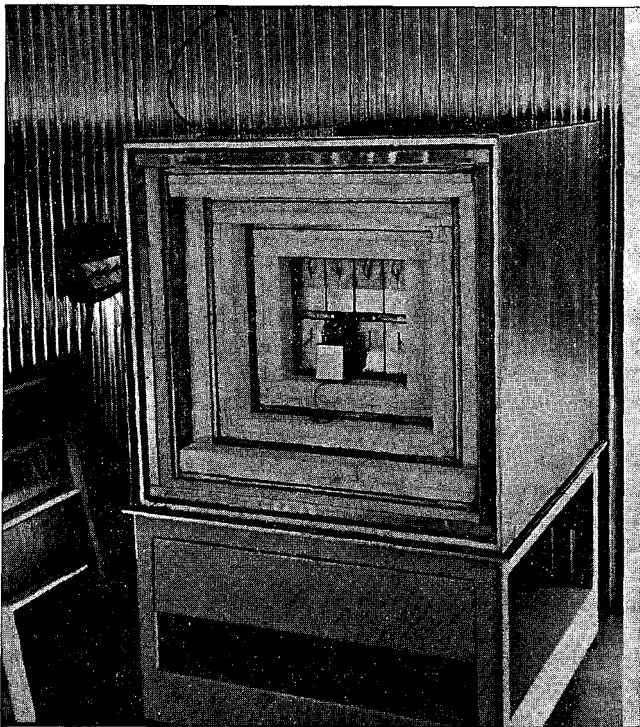


Fig. 6. — Vue générale de l'enceinte thermorégulée.
Parois avant enlevées pour la mise en place des piles dans la chambre intérieure.

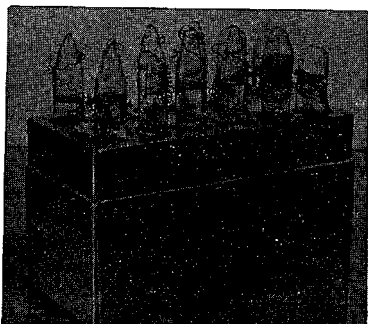


Fig. 7. — Bloc en duralumin contenant six piles, destiné à être placé dans la chambre intérieure de l'enceinte thermorégulée des figures 5 et 6.

ment le cube intérieur en cuivre. Tous les pôles négatifs des piles sont reliés électriquement. Le pôle négatif commun et le pôle positif de chaque pile sont reliés aux bornes extérieures par des câbles multibrins en cuivre de $0,03 \text{ mm}^2$ de section, isolés au polychlorure de vinyle, d'une longueur d'environ 4 m, enroulés en spirale.

Nous espérons que la température au centre de l'enceinte sera constante à quelques 10^{-4} K près.

Mise en œuvre de l'effet Josephson pour le contrôle de la stabilité des étalons de force électromotrice de référence du B.I.P.M.

Ces mesures seront effectuées dans la salle 4 rénovée, actuellement en cours d'aménagement dans ce but.

Dans cette salle seront regroupées toutes les installations intéressant les mesures de force électromotrice et la conservation du volt; l'actuelle salle principale d'Électricité sera exclusivement affectée aux mesures de résistance et de capacité.

Dans le fond de la salle 4 une cabine a été construite pour recevoir l'enceinte à air thermorégulée décrite ci-dessus, la cuve à bain d'huile de paraffine mise en service en 1968 (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 36, 1968, pp. 53-54) et les piles déposées au B.I.P.M. pour étude. Cette cabine, d'une hauteur de 2,85 m, occupe toute la largeur de la salle; l'isolement thermique de ses parois (murs, plancher, plafond) a été particulièrement soigné.

La construction d'un balcon, dont le toit de la cabine constitue l'un des éléments, a permis d'augmenter la surface utile de la salle; le potentiomètre qui sert à la comparaison des piles sera installé sur ce balcon.

La salle 4 étant climatisée à $20 \pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$, la température dans la cabine devrait être très stable; un dispositif auxiliaire de thermorégulation de cette cabine a néanmoins été prévu.

Pour améliorer nos connaissances techniques dans des domaines qui jusqu'à présent n'étaient pas les nôtres, nous avons pris contact avec différents spécialistes: Laboratoire Aimé Cotton du C.N.R.S. (basses températures), Laboratoire d'Électronique Fondamentale à Orsay (production d'hyperfréquences monochromatiques à l'aide de l'effet Josephson), Laboratoire Central des Industries Électriques (fabrication de jonctions Josephson). En accord avec T. Witt, nous avons fait choix du matériel et des instruments à acquérir. Le B.I.P.M. a déjà reçu une partie de ceux-ci: stabilisateur de fréquence, klystron, amplificateurs galvanométriques, 22 résistances de 100Ω de premier ordre destinées à la construction des deux étalons de rapport du type « Hamon » prévus pour comparer avec précision la tension Josephson à la force électromotrice d'une pile. La qualité des 22 résistances (Electro Scientific Industries, États-Unis) a été contrôlée et leur valeur à $20 \text{ }^\circ\text{C}$ déterminée. En vue de la construction des deux étalons de rapport nous avons également étudié la réalisation de jonctions tétrapolaires symétriques.

La préparation des jonctions Josephson s'effectuera dans la première pièce aménagée dans la salle 8 rénovée. Une sorbonne sous laquelle on procédera au nettoyage des supports a été installée dans cette pièce, où seront regroupés tous les évaporateurs et leurs accessoires.

Comparaisons circulaires d'instruments dans le domaine des radiofréquences

Comparaisons recommandées par le C.C.E. en 1965

a. Comparaison d'instruments de mesure des faibles puissances à 3 GHz : le rapport final sur cette comparaison (N.B.S. laboratoire pilote) a été publié dans *I.E.E.E. Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 19, N° 4, 1971 ; sa traduction sera publiée dans les comptes rendus de la prochaine session du C.C.E.

b. Paramètres diélectriques à 10 GHz : le B.I.P.M. n'a reçu du N.B.S., laboratoire pilote, aucune nouvelle information sur cette comparaison.

c. Instruments de mesure des faibles puissances à 10 GHz, 1^{re} comparaison : les trois instruments encore en état d'être mesurés (sur les dix engagés primitivement dans la comparaison) ont regagné l'E.T.L., laboratoire pilote, d'où ils étaient partis en 1966 ; cette comparaison, à laquelle ont participé sept laboratoires, sera donc terminée vers la fin de 1971.

d. Instruments de mesure des faibles puissances à 10 GHz, 2^e comparaison : le B.I.P.M. possède peu d'informations sur l'organisation et le déroulement de cette comparaison pour laquelle l'Institut des Mesures Physicotechniques et Radiotechniques (I.M.P.R. de l'U.R.S.S., Moscou) est le laboratoire pilote. Nous savons que quelques étalons de transfert ont déjà été mesurés par l'I.M.P.R. et le L.C.I.E. et que le R.I.N.D. (Stockholm), la P.T.B., l'I.E.N. (Turin) et l'E.T.L. ont accepté de participer à cette comparaison (en fournissant ou non des étalons de transfert). Deux comparaisons parallèles organisées par les intéressés en attendant le démarrage de la seconde comparaison internationale sont en cours : l'une entre le L.C.I.E., la P.T.B., le N.R.C. et l'O.M.H. (Budapest), l'autre entre le R.R.E. (Great Malvern, Royaume-Uni), le R.I.N.D. et le N.B.S.

Comparaisons recommandées par le C.C.E. en 1968

a. Mesure de tension à 1 GHz (laboratoire pilote N.B.S.) : nous n'avons reçu aucune information depuis notre Rapport de 1970.

b. Mesure d'affaiblissement à 30 MHz (laboratoire pilote N.S.L.) : cette comparaison à laquelle participent le N.S.L., l'E.T.L., le N.B.S., le N.R.C., le N.P.L. et l'O.M.H. est en cours ; les onze instruments voyageurs ont déjà été étudiés par le N.S.L. et l'E.T.L. et se trouvent actuellement au N.B.S.

c. Mesure d'affaiblissement à 10 GHz, sur guide d'onde (laboratoire pilote R.I.N.D.) : cette comparaison qui comprend le plus grand nombre de participants (R.I.N.D., P.T.B., O.M.H., I.E.N., L.C.I.E., R.R.E., N.R.C., N.S.L. et E.T.L.) et le plus grand nombre d'instruments voyageurs (quatorze) progresse avec une remarquable régularité ; elle se déroule de façon exemplaire tant en ce qui concerne le respect du calendrier établi que la qualité des informations qui parviennent au B.I.P.M.

d. Mesure d'affaiblissement jusqu'à 8 GHz, en coaxial (laboratoire pilote N.P.L.) : cette comparaison à laquelle participent le N.P.L., le N.R.C., le N.B.S. et le R.I.N.D. est en cours ; les instruments ont été étudiés au N.P.L. et se trouvent actuellement au N.R.C.

e. Mesure d'affaiblissement jusqu'à 8 GHz, sur guide d'onde (laboratoire pilote N.R.C.) : comme nous l'avons annoncé dans notre Rapport de 1970, il a été décidé que cette comparaison ne serait entreprise qu'après

l'achèvement des mesures d'affaiblissement à 10 GHz actuellement en cours.

Contrôle des installations du B.I.P.M. et études courantes

Les étalonnages demandés au B.I.P.M. ont été si nombreux durant l'année écoulée qu'il ne nous a pas été possible de disposer de nos installations pour procéder aux comparaisons annuelles de nos étalons primaires de résistance et de force électromotrice.

La haute précision exigée des résultats fournis par le B.I.P.M. et la confiance qu'on leur accorde nous obligent à multiplier les contrôles. En ce qui concerne les résistances, par exemple, nous avons dû faire plusieurs fois dans l'année l'étude de nos étalons de passage pour satisfaire les nombreuses demandes d'étalonnage de sous-multiples ou de multiples de l'ohm. Pour certains étalons à l'étude nous avons en outre déterminé les coefficients de température et les résistances à des températures différentes de 20 °C (le plus souvent 25 °C, mais quelquefois à 23 °C, 27 °C et même 30 °C); dans ces derniers cas la durée des mesures devient excessive, le B.I.P.M. ne disposant pas d'un équipement adapté à des mesures aussi variées.

Une centaine de piles et vingt-six étalons de résistance de valeurs comprises entre 0,1 et $10^6 \Omega$ ont été étudiés pour les laboratoires ou organismes suivants: Comité de la Qualité, de la Standardisation et de la Métrologie (Bulgarie), Urad pro Normalizaci et Faculté Électrotechnique de Prague (Tchécoslovaquie), Office National des Mesures (Hongrie), Société Anonyme Belge de Constructions Aéronautiques (Belgique), Centre National d'Études Spatiales (France), Laboratoire Central du Service de la Métrologie (Pays-Bas), OTAN (Luxembourg), Matériel Électro-Chimique (France), National Research Council (Canada), Centre de l'Énergie Atomique (France), Société TEK-ELEC (France), National Physical Laboratory of India, Instituto Nacional de Tecnologia (Argentine).

Pour la Junta de Energia Nuclear (Espagne) nous avons étalonné une boîte de résistances à 6 décades (0 à 111 111,0 Ω par échelons de 0,1 Ω) et deux résistances spéciales d'environ 1 442 000 Ω .

En ce qui concerne nos propres installations nous avons surtout étudié en détail notre potentiomètre Guildline à comparateur de courants continus (dont la linéarité à 1×10^{-7} près a été confirmée), et le potentiomètre spécial qui sert pour la comparaison des piles.

Photométrie (J. Bonhoure, C. Garreau)

Température de répartition des étalons de flux lumineux du B.I.P.M.

La température de répartition des étalons de flux lumineux du B.I.P.M. repose encore actuellement sur la température moyenne des étalons qui ont participé à la comparaison organisée en 1950-1952 entre les laboratoires de cinq pays (Allemagne, États-Unis d'Amérique, Japon, Royaume-Uni, U.R.S.S.). Par contre, pour les étalons d'intensité lumineuse, on dispose de l'échelle établie en 1963-1964 lors de la première comparaison des étalons nationaux de température de répartition.

Il était donc possible d'effectuer un rattachement; celui-ci a été réalisé à la température nominale de 2 357 K avec une lampe à filament de tungstène.

tène dans le vide qui peut fonctionner dans n'importe quelle position sans modification appréciable de sa température de répartition.

La comparaison a montré que les valeurs attribuées à la température des étalons de flux lumineux à 2 357 K du B.I.P.M. étaient surestimées d'environ 7 K.

Études courantes

Vingt-six lampes ont été réglées en température de répartition et étalonnées en candelas ou en lumens pour l'Office National des Mesures (Hongrie) et le Bureau National de la Qualité et des Mesures (Pologne); à cette occasion, on a pu constater de nouveau l'excellente stabilité de lampes étalons d'intensité lumineuse fonctionnant à 2 357 K, qui ont conservé leurs valeurs d'étalonnage à 0,1 % près entre 1953 et 1970.

Plusieurs lampes étalons d'intensité lumineuse (2 045 K) ont été formées et étalonnées en vue de constituer un groupe d'usage courant au B.I.P.M.

Rayons X et γ

Étalonnage de chambres d'ionisation de transfert (M. Boutillon, A.-M. Roux*)*

Deux chambres d'ionisation à cavité, l'une de l'Office National des Mesures (O.M.H., Hongrie), l'autre du Bhabha Atomic Research Centre (B.A.R.C., Inde), ont été étalonnées au Bureau International. Ces deux chambres sphériques ont une épaisseur de paroi d'environ 2 mm. Nous avons mesuré leur facteur d'étalonnage M pour quelques qualités de rayonnement entre 50 et 100 kV. Les résultats sont consignés dans le tableau VI (p. 50).

Comparaison de diaphragmes de chambres d'ionisation (A. Brosed, C. E. Granados*, M. Boutillon*)*

A. Brosed et C. E. Granados, de la Junta de Energia Nuclear (J.E.N.), Madrid, sont venus au Bureau International pour comparer les diaphragmes de leur étalon à ceux des étalons du B.I.P.M. Les diaphragmes de l'étalon de la J.E.N. sont de même matière (carbure de tungstène) et de mêmes dimensions que ceux du B.I.P.M. Les comparaisons, qui ont eu lieu à 10, 30 et 50 kV, ont donné de bons résultats, en accord avec les incertitudes expérimentales (tableau VII).

TABLEAU VII

Comparaison des diaphragmes des étalons d'exposition de la J.E.N. et du B.I.P.M.

Valeurs de $\frac{(I/A)_{JEN}}{(I/A)_{BIPM}}$

(I , courant d'ionisation; A , aire du diaphragme)

Diaphragmes	10 kV	30 kV	50 kV
diamètre 5 mm } épaisseur 1 mm }	0,999 ₂	1,000 ₁	0,999 ₈
diamètre 10 mm } épaisseur 3 mm }	1,000 ₃	0,999 ₆	0,999 ₂

TABLEAU VI
Étalonnage des chambres d'ionisation de l'O.M.H. et du B.A.R.C.

(kV)	Rayonnement			Chambre d'ionisation de l'O.M.H.			Chambre d'ionisation du B.A.R.C.		
	Filtration	1 ^{re} CDA (mm Al) (¹)	2 ^e CDA (mm Al) (¹)	M 10 ¹⁰ R/A.min	Erreur systématique (²)	3 σ (³)	M 10 ¹⁰ R/A.min	Erreur systématique (²)	3 σ (³)
50	{ 2,5 mm Be + 1 mm Al	1,02	1,56	{ 0,974 ₁ 0,974 ₄ 0,973 ₂	0,3 %	0,07 %	—	—	—
75	{ 2,5 mm Be + 3 mm Al	2,8	4,1	{ 0,906 ₁ 0,906 ₁ 0,906 ₅	0,3 %	0,03 %	—	—	—
80	{ 2,5 mm Be + 1 mm Al	2,4	3,8	—	—	—	0,543 ₇	0,3 %	0,05 %
100	{ 2,5 mm Be + 4 mm Al	4,4	6,3	{ 0,918 ₁ 0,918 ₂ 0,917 ₆	0,3 %	0,02 %	0,530 ₄	0,3 %	0,04 %

(¹) CDA = couche de demi-atténuation.

(²) Erreur systématique égale à $(\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2 + \dots)^{1,2}$ où les ϵ sont les erreurs systématiques possibles sur les différents paramètres du facteur d'étalonnage.

(³) σ est l'écart-type à court terme sur la valeur du facteur d'étalonnage.

Détermination ionométrique de l'épaisseur de filtres d'aluminium (A. Brosed*, C. E. Granados*, M. Boutillon*)

A. Brosed et C. E. Granados ont apporté avec eux un lot de filtres d'aluminium dont l'épaisseur (entre 0,02 et 8 mm) a été mesurée ionométriquement par comparaison de leur transmission avec la transmission de nos filtres (dans la même gamme d'épaisseur) à 30 et 50 kV.

Mesure de l'exposition dans un faisceau de rayons γ du ^{60}Co (M.-T. Niatel*, Z. Referowski*, P. Brun*, D. Carnet, A. Allisy)

a) *Modification de l'installation.* — Des difficultés avec le dispositif de montée et de descente automatiques des sources de cobalt sont survenues au cours de l'été 1970, ce qui a entraîné la construction d'un nouveau barillet pour le stockage des sources (voir la description de l'ensemble du château de plomb dans *Procès-Verbaux CIPM*, 33, 1965, p. 55). L'ancien barillet avait des parois de laiton et était rempli de poudre de plomb; le nouveau est en acier inoxydable massif, ce qui évitera les déformations mécaniques et réduira l'oxydation due à une irradiation intense.

La source de plus forte activité (environ 350 Ci au 1^{er} janvier 1971), habituellement utilisée dans les expériences, fut d'abord placée librement dans une tige creuse, mais le manque de reproductibilité de sa position faisait croître l'écart-type de $0,6 \times 10^{-4}$ à $2,2 \times 10^{-4}$ quand on descendait et montait la source entre les mesures. En fixant la source avec une pièce en acier inoxydable, cet écart-type n'atteint plus que $1,0 \times 10^{-4}$. D'ailleurs, il est maintenant possible de se libérer de ce petit supplément d'erreur, pour les comparaisons d'étalons d'exposition par exemple, en maintenant la source en position haute et en utilisant un obturateur de plomb à la sortie du collimateur.

b) *Étude expérimentale de plusieurs corrections.* — L'étude des différentes corrections qu'il est nécessaire d'appliquer aux mesures d'ionisation effectuées avec une chambre à cavité pour obtenir l'exposition a été poursuivie.

— Correction pour l'atténuation due aux parois. On a déterminé d'une part le coefficient d'atténuation linéique en pinceau fin du graphite constituant nos chambres ($\mu = 0,106 \text{ } 5_8 \text{ cm}^{-1}$ avec un écart-type de $0,000 \text{ } 07 \text{ cm}^{-1}$), et d'autre part les contributions relatives des parois latérales (15 %) et des parois frontales (85 %) au courant d'ionisation total. Cette dernière détermination a été effectuée à l'aide d'une chambre d'essai, de même géométrie que la chambre étalon, en faisant varier l'épaisseur des parois latérales alors que l'équilibre électronique dans ces parois n'est pas encore atteint. La correction d'atténuation totale (3,97 %) a été calculée en tenant compte des atténuations différentes pour les deux contributions en question.

— Correction pour le rayonnement diffusé dû aux parois. Cette correction est séparée de la précédente et déterminée par extrapolation à partir de la variation du courant d'ionisation (corrigée pour l'atténuation) que l'on observe quand on augmente l'épaisseur des différentes parois de la chambre au-delà de la valeur nécessaire pour l'équilibre électronique. La contribution relative du rayonnement diffusé provenant des parois a été trouvée égale à 2,7 %.

— Correction due à l'épaisseur de la cavité. D'après les calculs de M. Bouillon (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 37, 1969, p. 73), la variation de cette correction doit entraîner pour notre chambre une diminution relative de $1,7 \times 10^{-3}$ du produit Id^2 (I courant d'ionisation, d distance de la source au centre de la chambre) quand d croît de 1,1 à 2,5 m. Les mesures effectuées avec la chambre d'essai, après correction pour d'autres causes d'erreurs systématiques liées à la distance (inhomogénéité du faisceau et contribution du rayonnement diffusé par l'air), mettent en évidence une décroissance de $0,6 \times 10^{-3}$ seulement. Étant donné l'incertitude des corrections utilisées, cette expérience ne permet pas de tirer de conclusions nettes, mais d'autres mesures effectuées avec une chambre sphérique de 23 mm de diamètre montrent que Id^2 (corrigé comme ci-dessus) décroît de plus de 0,2 % quand d croît de 0,8 m à 2,5 m. Il semble donc qu'effectivement il existe un effet dans le sens prévu, mais pour une chambre sphérique il est difficile d'estimer théoriquement la correction qui permettrait de tenir compte des dimensions de la cavité. Si les corrections (homogénéité, rayonnement diffusé) étaient mieux connues, une extrapolation de la courbe expérimentale $Id^2 = f(1/d)$ pour $1/d = 0$ pourrait permettre une détermination de la correction cherchée.

c) *Comparaisons internationales d'étalons d'exposition* (avec T. P. Loftus* [N.B.S.] et W. Oetzmann* [P.T.B.])

Une première comparaison a eu lieu entre les chambres étalons du N.B.S. (3) et l'étalon du B.I.P.M. à la fin d'avril 1971. Les chambres du N.B.S. sont sphériques (diamètre extérieur voisin de 20 mm), alors que la chambre du B.I.P.M. est cylindrique (faces circulaires de 50,5 mm de diamètre perpendiculaires au faisceau; épaisseur de la chambre 10,8 mm). Dans les deux cas le matériau des parois est le graphite.

Le débit d'exposition déterminé à l'aide d'une chambre à cavité (ici graphite-air) est :

$$\frac{dX}{dt} = \frac{10^4}{2,58} \frac{I}{m} \frac{1}{\bar{f}} \frac{(\mu_{en}/\rho)_{air}}{(\mu_{en}/\rho)_C} K_p,$$

où

dX/dt est le débit d'exposition en $R s^{-1}$,

I/m le courant d'ionisation massique en $A kg^{-1}$,

$1/\bar{f}$ le rapport moyen des pouvoirs de ralentissement du carbone et de l'air,

$(\mu_{en}/\rho)_{air}/(\mu_{en}/\rho)_C$ le rapport des coefficients d'absorption de l'énergie par unité de masse surfacique pour l'air et le carbone,

K_p l'ensemble des diverses corrections concernant les parois.

K_p est déterminé de manière différente au N.B.S. et au B.I.P.M. Pour les chambres du N.B.S. l'effet des parois est traité globalement. Le courant d'ionisation massique a été mesuré avec les trois chambres mentionnées dans la note (3); ces chambres ont même diamètre extérieur, mais leurs parois ont des épaisseurs différentes, l'équilibre électronique restant assuré dans tous les cas. Par extrapolation à une épaisseur nulle, on obtient la

(3) L'étalon d'exposition du N.B.S. est représenté en fait par la moyenne des mesures de huit chambres. Trois d'entre elles furent apportées au B.I.P.M. Dans cette comparaison l'une fut choisie comme référence, les deux autres permettant de déterminer la correction de paroi de cette chambre de référence.

contribution des parois (correction K_{AA}). Une correction supplémentaire (K_R) est toutefois nécessaire, car l'atténuation apparente ainsi mesurée ne doit pas être comptée pour la totalité de l'épaisseur de la paroi, les photons qui mettent en mouvement les électrons mesurés dans la cavité ne traversant en moyenne qu'une partie de la paroi. Au B.I.P.M. on a déterminé séparément les corrections pour l'atténuation (K_A) et pour le rayonnement diffusé (K_D) dus aux parois (voir *b* ci-dessus). La correction K_R est calculée ici de manière un peu différente (A. Allisy, *Metrologia*, 3, N° 2, 1967, pp. 41-51). Une autre correction K_E tient compte de la variation de la fluence des photons avec l'inverse du carré de la distance à la source, le long de l'épaisseur de la chambre, parallèlement à l'axe du faisceau. Cette correction, d'abord calculée pour l'épaisseur des parois (A. Allisy, *op. cit.*), a été complétée en faisant intervenir l'épaisseur de la cavité (M. Boutillon, *op. cit.*).

Le rapport des réponses des chambres étalons est :

$$(1) \quad \frac{(dX/dt)_{BIPM}}{(dX/dt)_{NBS}} = \frac{(I/m)_{BIPM}}{(I/m)_{NBS}} \frac{\bar{f}_{NBS}}{\bar{f}_{BIPM}} \frac{(K_A K_D K_R K_E)_{BIPM}}{(K_{AA} K_R)_{NBS}}$$

$\frac{(I/m)_{BIPM}}{(I/m)_{NBS}} = 1,010 6$ d'après les mesures effectuées à 1,12 m de la source,

les courants étant corrigés pour la recombinaison des ions, le manque d'homogénéité du faisceau dans le plan de référence de la mesure, l'ionisation parasite due à l'irradiation des supports. La dispersion des mesures de ce rapport est $1,2 \times 10^{-4}$.

$\bar{f}_{NBS}/\bar{f}_{BIPM} = 1$ dans l'hypothèse du ralentissement continu, ou 1,000 6 si l'on admet la théorie de Spencer-Attix pour les pertes discontinues d'énergie, car les dimensions de la cavité, différentes pour les chambres NBS et BIPM, interviennent dans ce cas.

$$(K_A K_D K_R K_E)_{BIPM} = 1,039 7 \times 0,973 \times 0,992 9 \times 0,997 0 = 1,001 4.$$

$$(K_{AA} K_R)_{NBS} = 1,0164 \times 0,995 = 1,011_3.$$

On en déduit :

$$\frac{(dX/dt)_{BIPM}}{(dX/dt)_{NBS}} = 1,000 7 \text{ ou } 1,001 3$$

selon la valeur choisie pour le rapport $\bar{f}_{NBS}/\bar{f}_{BIPM}$. Cet accord n'est pas aussi satisfaisant qu'il pourrait le sembler à première vue, car le résultat dépend de la distance des chambres à la source; si cette distance augmente de 1,12 m à 2,54 m, le rapport précédent devient 1,003 4 (ou 1,004 0). En fait, la correction K_E qui dépend de la distance n'a été effectuée que pour la chambre du B.I.P.M. Si une correction analogue pouvait être appliquée à la chambre sphérique du N.B.S., le rapport des réponses des chambres pourrait devenir constant, mais il s'écarterait davantage de 1.

Une deuxième comparaison a eu lieu à la fin de juin 1971 entre les chambres de la P.T.B. et celle du B.I.P.M. Les trois chambres étalons de la P.T.B. sont cylindriques; les deux plus petites ($d = 10$ et 14 mm, $h = 26$ mm) ont leur axe perpendiculaire à celui du faisceau, la troisième a des dimensions très voisines de celles de la chambre du B.I.P.M. et elle est placée de la même manière (axe confondu avec celui du faisceau).

En ce qui concerne les corrections pour les parois des chambres de la P.T.B., l'atténuation apparente est déterminée globalement comme au N.B.S., mais en ajoutant des épaisseurs successives de graphite à chacune des chambres. A la correction K_{AA} ainsi déterminée par extrapolation s'ajoutent une correction K_R (voir ci-dessus) et une correction K_B calculée d'après Burlin (*Phys. Med. Biol.*, 3, 1959, p. 197) et Cormack et Johns (*Rad. Res.*, 1, 1954, p. 133). Cette dernière correction K_B serait à rapprocher de la correction K_E , mais le problème est traité de manière tout à fait différente et conduit à une correction K_B indépendante de la distance de la chambre à la source. Les corrections globales K_p pour les trois chambres de la P.T.B. sont rassemblées dans le tableau suivant :

Chambre P.T.B.	K_{AA}	K_R	K_B	$K_p = K_{AA}K_RK_B$
1 (0,55 cm ³)	1,012 2	0,995 5	0,997	1,004 6
2 (1,53 cm ³)	1,012 7	0,992 5	0,997	1,002 1
3 (6,24 cm ³)	1,009 8	0,993 3	0,997	1,000 0

Les rapports des débits d'exposition mesurés à 1,12 m avec la chambre du B.I.P.M. et chacune des chambres de la P.T.B. sont calculés d'après (1) en supposant $\bar{f}_{BIPM} = \bar{f}_{PTB}$. Ils sont indiqués dans le tableau ci-dessous.

Chambre P.T.B.	$\frac{(I/m)_{BIPM}}{(I/m)_{PTB}}$	$\frac{(K_p)_{BIPM}}{(K_p)_{PTB}}$	$\frac{(dX/dt)_{BIPM}}{(dX/dt)_{PTB}}$
1	1,002 2	0,996 8	0,999 0
2	1,001 8	0,999 4	1,001 2
3	0,995 6	1,001 4	0,997 0

Comme pour la comparaison avec les chambres du N.B.S., les résultats ci-dessus dépendent de la distance des chambres à la source. Des améliorations doivent donc encore être apportées aux corrections actuellement appliquées.

Mesure du coefficient d'atténuation, par unité de masse surfacique, de l'aluminium et du cuivre pour un rayonnement γ de 1,33 MeV (A.-M. Roux, D. Carnet, A. Allisy)*

L'installation utilisée pour la comparaison des activités de deux sources de ⁶⁰Co, qui a été décrite dans les rapports des années précédentes, définit par ses dimensions géométriques et ses conditions de collimation un faisceau fin de ⁶⁰Co tel que le rayonnement diffusé pouvant atteindre le détecteur est négligeable. Il a paru intéressant d'utiliser cette installation pour une mesure précise des coefficients d'atténuation de l'aluminium et du cuivre pour un rayonnement γ d'une énergie de 1,33 MeV.

La figure 8 rappelle schématiquement cette installation. Les filtres sont placés près du collimateur qui arrête ainsi une grande partie du rayonnement diffusé qu'ils produisent. Un système automatique permet de mesurer successivement l'atténuation produite par les filtres qui sont fixés sur un chariot à glissière à entraînement électrique; un réglage soigné par autocollimation assure une parfaite perpendicularité des faces des filtres par rapport à l'axe du faisceau de rayonnement.

On règle la durée du comptage des impulsions délivrées par le détecteur. La fin du comptage commande l'impression du nombre d'impulsions

comptées, la remise à zéro de l'échelle de comptage, le changement de filtre et le départ de la mesure suivante. La succession des mesures est choisie à l'avance. A, B et C étant les trois positions du chariot porte-filtres, on peut sélectionner les cycles ABABAB... ou BCBCBC... ou ABCBABCBA...

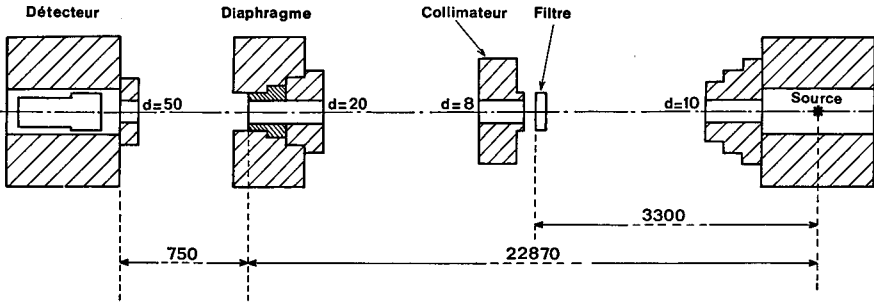


Fig. 8. — Schéma de l'installation pour la mesure des coefficients d'atténuation (cotes en millimètres).

a) *Coefficient d'atténuation de l'aluminium.* — La méthode consiste en une détermination expérimentale de la courbe d'atténuation pour des photons d'une énergie de 1,33 MeV. L'aluminium utilisé est d'une pureté de 99,999 % et nous a été offert par la Société Aluminium Suisse. Trois filtres de 10, 20 et 40 mm d'épaisseur ont été fabriqués; leurs faces utiles ont été rodées et les écarts de planéité sur chaque face sont inférieurs à $0,5 \mu\text{m}$. L'épaisseur des filtres a été mesurée en différents points avec un comparateur mécanique; l'erreur relative sur l'épaisseur moyenne est estimée à 1×10^{-5} .

La masse volumique de ces filtres a été mesurée par pesée hydrostatique; la valeur obtenue $\rho = 2,698\ 85\ \text{g/cm}^3$ à $20\ ^\circ\text{C}$ est déterminée avec une erreur aléatoire de $0,000\ 05\ \text{g/cm}^3$ ($3\ \sigma$) et une erreur systématique de 2×10^{-5} . Ces trois filtres, montés dans des bagues filetées, peuvent être empilés pour réaliser des filtres composites; on peut ainsi obtenir toutes les épaisseurs de centimètre en centimètre, entre 1 et 7 cm.

On a effectué 100 déterminations de l'atténuation produite par chacune de ces épaisseurs en mesurant successivement les taux de comptage avec et sans aluminium dans le faisceau. L'atténuation moyenne pour chaque épaisseur est déterminée avec un écart-type relatif de 5 à 6×10^{-4} . Le seuil de comptage était réglé à la hauteur d'impulsion correspondant à l'énergie de 1,33 MeV, mais la distribution des impulsions pour une énergie donnée étant gaussienne, on comptait aussi une partie des photons d'énergie inférieure à 1,33 MeV diffusés soit par la source, soit par les filtres. A partir des calculs effectués par M. Boutillon (tableau VIII) on a évalué les corrections à appliquer aux résultats expérimentaux pour tenir compte de ces photons diffusés. Ces corrections sont négligeables ($< 10^{-5}$).

On a déterminé par la méthode des moindres carrés la courbe d'atténuation $e^{-\mu x}$ la plus probable à partir des valeurs expérimentales obtenues pour les différentes épaisseurs x .

Le coefficient d'atténuation par unité de masse surfacique de l'alu-

minium ainsi obtenu est, en tenant compte des faibles impuretés présentes dans l'aluminium utilisé,

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\text{Al}} = 0,0533 \text{ cm}^2/\text{g}$$

pour un rayonnement γ de 1,33 MeV. Ce coefficient est déterminé avec une erreur aléatoire relative de 1×10^{-3} (3σ) et une erreur systématique estimée négligeable.

Cette valeur excède d'environ 0,3 % la valeur théorique calculée par Hubbell (NSRDS-NBS 29, 1969); cet écart n'est toutefois pas significatif, compte tenu des erreurs indiquées par Hubbell (environ 2 %). Un écart du même ordre est observé par rapport à la valeur expérimentale donnée par Colgate (*Phys. Rev.*, **87**, 1952, p. 592) avec une erreur de 0,2 %; dans ce cas, l'écart est significatif et s'explique par le fait que notre dispositif présente de meilleures conditions de faisceau fin et que, par suite, l'accumulation des photons diffusés est négligeable dans nos mesures d'atténuation.

b) *Coefficient d'atténuation du cuivre.* — Cette détermination est faite par comparaison des atténuations produites par un filtre de cuivre et un filtre d'aluminium. L'épaisseur x de ces deux filtres est choisie de façon que le rapport des atténuations soit très voisin de 1. Le cuivre utilisé est d'une pureté de 99,99 %. Un filtre de 12 mm d'épaisseur a été fabriqué, présentant les mêmes caractéristiques de planéité et de précision que les filtres d'aluminium.

La masse volumique du filtre, déterminée également par pesée hydrostatique, est à 20 °C: $\rho = 8,9290 \text{ g/cm}^3$, avec une erreur aléatoire (3σ) de 5×10^{-6} et une erreur systématique estimée à 7×10^{-5} .

On a déterminé le rapport des transmissions de ce filtre et du filtre d'aluminium de 40 mm d'épaisseur en les mesurant alternativement. 350 mesures ont été effectuées; la valeur moyenne obtenue pour ce rapport est, avec une erreur aléatoire 3σ ,

$$\frac{e^{-(\mu^{\text{cu}})_{\text{Al}}}}{e^{-(\mu^{\text{cu}})_{\text{Cu}}}} = 1,00275 \pm 0,00053.$$

Le coefficient d'atténuation par unité de masse surfacique du cuivre est déduit de ce résultat et de la valeur déterminée précédemment pour le coefficient d'atténuation de l'aluminium. On a tenu compte des impuretés présentes dans le cuivre utilisé. D'où

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\text{Cu}} = 0,05107 \text{ cm}^2/\text{g}$$

pour un rayonnement γ de 1,33 MeV. Ce coefficient est déterminé avec une erreur aléatoire relative de $1,4 \times 10^{-3}$ (3σ) et une erreur systématique estimée négligeable.

L'écart par rapport à la valeur théorique calculée par Hubbell est ici encore de + 0,3 % environ.

Rayonnement diffusé par une source de ^{60}Co (M. Boutillon)*

Des calculs ont été effectués à l'aide de l'ordinateur IBM 1130 pour connaître la quantité de rayonnement diffusé par la source de ^{60}Co utilisée

en particulier pour la mesure des coefficients d'atténuation. Cette source est cylindrique ($d = 1$ mm, $h = 1,1$ mm); son axe est perpendiculaire à la direction du faisceau utilisé. La méthode de calcul est celle qui a été utilisée par Cormack et Johns (*Brit. J. Rad.*, **31**, 1958, p. 497). Seule la première diffusion a été envisagée. On donne dans le tableau VIII le quotient entre la fluence des photons diffusés par unité d'intervalle d'énergie et la fluence des photons primaires. Au total, la production des photons diffusés est seulement 1 % de celle des photons primaires.

TABLEAU VIII

$$Q = \frac{\text{fluence des photons diffusés par unité d'intervalle d'énergie}}{\text{fluence des photons primaires}}$$

E (MeV)	Q (MeV) ⁻¹	E (MeV)	Q (MeV) ⁻¹
1,25	0,017 ₄	0,7	0,015 ₂
1,2	0,016 ₄	0,6	0,015 ₉
1,15	0,015 ₉	0,5	0,017 ₈
1,10	0,015 ₇	0,4	0,021 ₈
1,0	0,015 ₂	0,3	0,030 ₈
0,9	0,014 ₉	0,212	0,051 ₃
0,8	0,014 ₉		

Radionucléides

Étalonnage de sources radioactives (A. Rytz, J. W. Müller, P. Bréonce, C. Colas, C. Veyradier)

Le travail de l'année écoulée a été consacré surtout à une étude minutieuse du nouvel ensemble de comptage par coïncidences, ainsi qu'à la fabrication et à l'étalonnage de sources solides destinées à être distribuées à d'autres laboratoires.

Ensemble N° 3 de comptage par coïncidences $4\pi\beta(CP)-\gamma$. — Le 1^{er} décembre 1971, six mois après sa première mise en marche, cet ensemble pouvait être considéré comme tout à fait au point. De nombreuses séries de mesures, souvent de longue durée, ont été effectuées afin de vérifier les détails suivants :

— Avec une série de sources d'activités échelonnées de 1 000 à 22 000 s⁻¹ et dont les masses avaient été déterminées comme d'habitude, on a pu vérifier que le taux de comptage est bien indépendant de l'activité massique.

— Étude de l'équilibrage des retards. Le nombre de coïncidences enregistrées en fonction du retard relatif entre les voies β et γ est une fonction à peu près rectangulaire dont la largeur est égale au double du temps de résolution. On a déterminé la pente de la partie centrale de cette courbe et les variations en fonction du retard du quotient $N_{\beta} \cdot N_{\gamma} / N_c$ qu'on peut appeler taux de désintégration apparent. Cet effet semble plus marqué pour le ⁶⁰Co (environ 0,05 % pour 200 ns) que pour le ⁵⁴Mn (à peine observable).

— Trente-cinq sources électrolytiques de ⁶⁰Co ont été mesurées trois fois chacune à des intervalles de six semaines. Compte tenu de la décroissance, les résultats concordent aux erreurs de mesure près.

— Pour compléter la connaissance de l'ensemble N° 3, on a mesuré l'ampli-

fication gazeuse du compteur proportionnel et la correction due au schéma de désintégration pour nos sources habituelles de ^{54}Mn et de ^{60}Co .

— Quelques sources de ^{60}Co avaient montré un comportement anormal. Une étude soigneuse a mis en évidence une contamination importante des supports métalliques. Il semble que lors de la « mise en sandwich » des gouttelettes de solution active peuvent éventuellement être projetées sur le support. Ce risque paraît pourtant faible et peut être réduit une fois son existence connue.

Préparation et distribution de sources solides. — Pour diverses raisons, il n'y a pas eu de comparaison internationale de radionucléides organisée par le Bureau International depuis 1967. De ce fait, les liens entre les laboratoires nationaux non représentés dans le Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants et le Bureau International sont devenus assez faibles. Dans le but de mieux connaître les besoins et les difficultés de ces laboratoires, et conformément à une décision prise par la Section II du C.C.E.M.R.I., nous avons rédigé une circulaire et un questionnaire en français et en anglais qui ont été distribués à tous les laboratoires susceptibles de participer aux comparaisons de radionucléides organisées par le Bureau International. Trente-quatre questionnaires ont été expédiés; seize réponses nous sont parvenues. Les questions posées à ces laboratoires et les réponses (entre parenthèses) étaient brièvement les suivantes :

1. Voulez-vous recevoir des sources solides, étalonnées au Bureau International? (Douze réponses affirmatives).
2. Désirez-vous des ampoules étalonnées de radionucléides moins courants, éventuellement fournies par un des grands laboratoires? (Huit laboratoires ont envoyé une liste plus ou moins longue de radionucléides qu'ils souhaiteraient obtenir).
3. Voulez-vous envoyer des stagiaires au Bureau International ou à l'un des cinq autres laboratoires proposés? (Sept laboratoires demandent d'envoyer un ou deux stagiaires à divers endroits).
4. Voulez-vous faire une petite comparaison concernant un problème d'étalonnage spécial avec un ou deux laboratoires ayant déjà étudié ce problème? (Neuf laboratoires sont intéressés à des comparaisons de ce genre).

Pour leur distribution à des laboratoires, les sources préparées par séchage d'une goutte de solution radioactive sur un film doré n'auraient pas toujours une durée suffisamment longue. C'est pourquoi nous avons préparé des sources par électrolyse: 90 sources de ^{60}Co et 70 sources de ^{54}Mn . Les sources de ^{60}Co étaient toutes recouvertes d'un deuxième film doré, tandis que celles de ^{54}Mn ne doivent pas être mises en « sandwich » car cela donnerait une forte diminution du taux de comptage des électrons Auger. Pour trois laboratoires il a fallu préparer les films de VYNS sur rondelles spéciales.

Les sources ont été envoyées par avion, dans un emballage spécialement étudié et essayé. Chaque envoi était accompagné d'une circulaire, de nos résultats d'étalonnage tels qu'ils sortent de l'ordinateur, ainsi que d'une photographie de l'emballage avec instructions pour l'ouverture.

Chaque source a été mesurée un grand nombre de fois et n'a été retenue que lorsqu'elle donnait des résultats suffisamment reproductibles.

Étalonnage d'une solution de ^{241}Am . — Le Service Central de Protection contre les Rayonnements Ionisants (Paris) nous a demandé d'étalonner une solution faible de cet émetteur α - γ . Comme la méthode de coïncidences donnait, pour une activité massique si faible, des erreurs très grandes, il fallait utiliser la méthode $4\pi\alpha$ et déterminer l'auto-absorption par extrapolation. Dix-huit sources furent préparées sur supports spéciaux SCPRI; l'activité massique était de $(3,376 \pm 0,003) \text{ s}^{-1} \text{ mg}^{-1}$.

Étude de la balance Mettler M5. — L'exactitude des pesées de gouttes de solutions est d'une importance capitale pour l'étalonnage des radionucléides. Les laboratoires nationaux utilisent souvent pour ce travail une balance Mettler, type M5, ou une balance similaire. Des mesures systématiques récentes (voir le rapport de Y. Le Gallic, C.E.A.-R-4169, 1971) ont mis en doute l'exactitude de ces pesées et donné lieu à une discussion au sein du C.C.E.M.R.I. où un sous-groupe de travail a été formé en vue d'étudier ces problèmes. Nous avons donc commencé à contrôler notre balance M5, d'une part pour nous rendre compte si ces objections étaient justifiées dans notre cas et, d'autre part, pour pouvoir contribuer à la discussion et mieux formuler des recommandations. Cette étude porte sur la sensibilité et la linéarité de l'échelle optique, ainsi que sur l'étalonnage des masses incorporées.

Phénomènes aléatoires et statistiques de comptage (J. W. Müller)

Parmi les études effectuées concernant les problèmes statistiques appliqués aux comptages de sources radioactives, nous mentionnerons brièvement trois d'entre elles, soit parce qu'elles sont d'un certain intérêt général, soit parce qu'elles sont susceptibles d'influencer directement les mesures absolues d'activité.

Distorsion d'une distribution de Poisson par un temps mort

L'effet produit par un temps mort τ du type non cumulatif sur un processus de Poisson est un problème qui a été étudié depuis longtemps, car il n'apparaît pas seulement en physique nucléaire, mais dans tous les comptages d'événements qui suivent une loi de Poisson. C'est en particulier en optique (comptage de photoélectrons) que ces problèmes se sont imposés, il y a une dizaine d'années déjà. Les solutions proposées, cependant, avaient toujours quelques inconvénients: ou elles étaient incomplètes et approximatives, ou elles faisaient appel à des conditions spéciales dont la réalisation n'était pas toujours évidente. De plus, et contrairement à la situation sans temps mort, les propriétés statistiques dépendent aussi de la manière de choisir le début du processus: il peut être lié à un enregistrement (avec ou sans retard) ou en être indépendant.

Par une étude détaillée, qui se base essentiellement sur la théorie du renouvellement, nous avons réussi à déduire un ensemble complet de formules décrivant les propriétés les plus utiles des processus correspondant aux diverses conditions expérimentales. En particulier on indique — comme généralisation de la loi de Poisson — les expressions exactes pour la probabilité $W_k(t)$ d'observer exactement k événements dans un temps t ,

pour un taux de comptage original ϱ et un temps mort τ donnés. De plus, les valeurs exactes (et approchées pour la limite $t \gg \tau$) pour l'espérance $\hat{k}(t)$ et la variance $\sigma_k^2(t)$ sont indiquées. Tous ces résultats sont rassemblés dans le Report BIPM-110: « Summary of formulae for the dead time distorted Poisson distribution ». Une formule d'un intérêt certain est celle qui donne la variance de k pour le cas où l'origine de temps est choisie au hasard. Le résultat asymptotique pour $t \gg \tau$ est

$$\sigma_k^2(t) = (1 + x)^{-3} \cdot \left[\varrho t + \frac{x^2}{1 + x} \left(1 + \frac{2}{3} x + \frac{1}{6} x^2 \right) \right],$$

où $x = \varrho\tau$, tandis qu'on vérifie pour l'espérance le résultat exact $\hat{k}(t) = \varrho t / (1 + x)$. (Pour une description détaillée des méthodes utilisées pour arriver à ces résultats voir le Report BIPM-111: « Counting statistics of a Poisson process with dead time ».)

Quant aux temps morts cumulatifs, souvent volontairement négligés jusqu'ici à cause des difficultés qu'ils représentent pour les calculs, un certain changement d'opinion est à constater. Bien qu'il soit vrai que ce type de temps mort entraîne une correction qui dépasse toujours celle due à un temps mort non cumulatif de la même valeur nominale τ , on s'est rendu compte que cette correction s'évalue parfois plus aisément de manière exacte que celle due au type plus conventionnel. De plus, il arrive que des temps morts cumulatifs soient imposés involontairement par les circuits électroniques; c'est le cas pour la suppression automatique d'empilement, utilisée aujourd'hui couramment dans les amplificateurs à fenêtres pour les détecteurs Ge(Li). Comme premier pas d'une description rigoureuse de cet effet, la répartition des intervalles a été étudiée, car elle est à la base de tout autre calcul. Le Report BIPM-112: « Interval densities for extended dead times » comprend aussi les résultats de mesures directes qui confirment fort bien les prévisions théoriques. Pour la densité totale $D(t)$ des événements après un enregistrement (pris comme origine du temps t), le résultat est particulièrement simple, car on trouve

$$D(t) = \begin{cases} 0 & \text{pour } t < \tau \\ \varrho \cdot \exp(-\varrho\tau) & \text{pour } t > \tau, \end{cases}$$

donc une valeur constante, où ϱ est la densité du processus original de Poisson.

Étude d'une série d'impulsions par une méthode de corrélation

Une possibilité simple pour étudier expérimentalement les propriétés statistiques d'un processus de comptage consiste à en déduire une fonction aléatoire $f(t)$, dont on mesure l'autocorrélation

$$R(\delta) = E\{f(t) \cdot f(t - \delta)\},$$

où δ est le retard imposé. Un choix particulièrement pratique consiste à utiliser pour $f(t)$ une fonction à deux valeurs seulement: un bistable électronique, dont les transitions sont commandées par l'arrivée des impulsions du processus étudié, fournit immédiatement $f(t)$. A l'aide de portes commandées par les bistables (fig. 9), la fonction d'autocorrélation s'obtient par un sondage continu à l'aide d'un oscillateur à fréquence fixe ν_0 et

pour leur interprétation qui n'est immédiate que pour les cas d'un processus de Poisson ou d'une fréquence fixe, celle-ci étant d'ailleurs utilisée pour la mesure précise du retard δ . Toutefois, grâce aux résultats décrits dans le paragraphe précédent, il a été possible de résoudre le problème de façon rigoureuse pour le cas d'un processus de Poisson perturbé par un temps mort du type non cumulatif. Ces résultats, indiqués dans le Rapport BIPM-70/8: « Sur la corrélation d'une série d'impulsions avec temps mort », montrent que les prévisions antérieures (G. Landaud, *C. R. Acad. Sci.*, **256**, 1963, p. 1733) ne sont valables que dans la limite où le retard dépasse de beaucoup le temps mort. Les résultats expérimentaux (*fig. 10*) mettent en évidence l'amélioration apportée par ces modifications dans l'interprétation des mesures.

Paires de coïncidences fortuites

Dans la méthode de comptage par coïncidences $4\pi\beta\text{-}\gamma$ on juge suffisant, en général, que la largeur des impulsions amenées vers le circuit à coïncidences ne dépasse pas les temps morts imposés dans les deux voies. Il n'est cependant pas exclu, dans ces conditions, qu'une seule impulsion bêta ou gamma donne lieu à deux coïncidences fortuites. Cette possibilité risque de fausser les mesures absolues puisqu'elle n'est pas prise en considération dans les formules habituellement utilisées pour corriger l'influence des coïncidences fortuites.

Si τ_β et τ_γ désignent les temps morts, r_β et r_γ les largeurs des impulsions dans les voies bêta et gamma respectivement, on trouve que l'effet de ces coïncidences supplémentaires peut être évité si la condition

$$r_\beta + r_\gamma < \min(\tau_\beta, \tau_\gamma) \equiv \tau'$$

est respectée. Pour tous les détails se référer au Rapport BIPM-71/2: « Sur un nouveau type de coïncidences fortuites ». Par un calcul approximatif, on arrive pour le comptage de sources radioactives à deux estimations de cet effet, l'une par défaut, l'autre par excès, permettant ainsi de corriger à peu près les résultats de mesures où la condition pour la largeur maximale des impulsions n'a pas été respectée. Une limite supérieure du taux Θ de l'effet, pour le cas où les temps morts τ et les largeurs r sont les mêmes dans les deux voies, est donnée par

$$\Theta_{\max} \approx \frac{1}{2} (2r - \tau)^2 \cdot B \cdot G \cdot \left[\frac{B - C}{1 - B\tau} + \frac{G - C}{1 - G\tau} \right],$$

où B , G et C sont les taux de comptage pour les bêtas, les gammas et les coïncidences vraies (après les temps morts).

Remarquons qu'un temps mort τ_c dans la voie des coïncidences est un autre moyen efficace d'éliminer les doubles coïncidences fortuites, car on peut profiter du fait que les membres d'une paire ne peuvent s'éloigner d'une distance supérieure à la largeur des impulsions. Or, il s'ensuit que si τ_c est choisi tel que

$$\max(r_\beta, r_\gamma) < \tau_c \leq \tau',$$

on ne court plus le risque de compter trop de coïncidences fortuites. Ainsi le domaine pour le temps de résolution augmente du double, car il suffit maintenant que

$$\max(r_\beta, r_\gamma) < \tau',$$

à condition que τ_c soit choisi égal à τ' . Pour plus de détails on consultera le Rapport BIPM-71/4 : « Complément sur les paires de coïncidences fortuites ».

Spectrométrie alpha (A. Rytz, B. Grennberg*, D. Gorman, P. Bréonce, C. Colas)

B. Grennberg a pu terminer presque toutes les mesures prévues avant d'achever son stage. Les résultats obtenus avant le 1^{er} janvier 1971 sont tous publiés et les expériences sont décrites en détail (voir Publications extérieures, p. 70).

Mesure absolue de l'énergie de particules alpha

Les résultats publiés jusqu'ici sont contenus dans le tableau IX. L'écart-type de la moyenne a été estimé à partir des différents résultats obtenus

TABLEAU IX

Émetteur α	E_α (keV)	Écart-type (keV)	Nombre de plaques	Nombre de sources
<i>Famille du thorium</i>				
²²⁸ Th α_0	5 423,33	0,22*	3	}
²²⁴ Ra α_{84}	5 340,54	0,15*	3	
²²⁴ Ra α_0	5 685,56	0,20*	4	}
²²⁰ Rn α_0	6 288,29	0,10*	4	
²¹⁶ Po α_0	6 778,5	0,5*	4	}
²¹² Bi α_0	6 090,06	0,08	7	
²¹² Bi α_{40}	6 050,77	0,07	5	}
²¹² Po α_0	8 784,3	0,6*	3	
<i>Famille du radium</i>				
²²⁶ Ra α_0	4 784,50	0,25*	2	1
²²² Rn α_0	5 489,66	0,30*	2	1
²¹⁸ Po α_0	6 002,55	0,10*	3	3
²¹⁴ Po α_0	7 687,090	0,056	9	9
<i>Famille de l'actinium</i>				
²²⁷ Th α_0	6 038,21	0,15*	3	}
²²⁷ Th α_{61}	5 977,92	0,10*	3	
²²³ Ra α_{286}	5 757,06	0,15*	3	
²²³ Ra α_{127}	5 747,2	0,4	3	}
²²³ Ra α_{159}	5 716,4	0,3	5	
²²³ Ra α_{270}	5 606,9	0,3	3	
²²³ Ra α_{338}	5 540,0	1,0*	1	
²¹⁹ Rn α_0	6 819,3	0,3*	2	}
²¹⁵ Po α_0	7 386,4	0,8*	2	
²¹¹ Bi α_0	6 623,1	0,6*	3	
<i>Autres émetteurs</i>				
²⁵³ Es α_0	6 632,726	0,053	6	3
²⁴⁴ Cm α_0	5 804,958	0,050	9	}
²⁴⁴ Cm α_{43}	5 762,835	0,030	7	
²⁴² Cm α_0	6 112,918	0,082	4	}
²⁴² Cm α_{44}	6 069,63	0,12	4	
²⁴¹ Am α_{80}	5 485,74	0,12	8	}
²⁴¹ Am α_{103}	5 442,98	0,13	7	
²³⁸ Pu α_0	5 499,21	0,20*	4	}
²³⁸ Pu α_{43}	5 456,46	0,40*	4	

ou, dans les cas marqués d'un astérisque, en combinant les erreurs estimées pour les résultats individuels.

On notera que même le ^{226}Ra , qui a une activité massique faible en raison de sa période de 1 600 ans, a donné des résultats remarquablement précis. D'autre part, nous sommes particulièrement satisfaits d'avoir réussi à mesurer le ^{218}Po dont la période très courte (3 min) exigeait des sources fortes et une manipulation sûre et rapide. Cette énergie n'a d'ailleurs jamais été remesurée de manière absolue depuis la première fois, il y a 40 ans.

Pour les mesures d'énergie des émetteurs α de la famille de l'actinium, le Centre de Spectrométrie Nucléaire et de Spectrométrie de Masse, Orsay, nous a fourni 30 μCi de ^{227}Th . Nous remercions Mr R. J. Walen d'avoir préparé cette substance dans un creuset adapté à notre évaporateur. En outre, nous exprimons notre reconnaissance au Lawrence Radiation Laboratory, Berkeley, (Mr F. Asaro) qui a mis à notre disposition 3 mCi de ^{253}Es .

Champ magnétique

L'amélioration de la stabilisation du champ a rendu inutile le système d'alarme et le volet pneumatique. Sauf pour le champ maximal, la perte du signal de résonance est devenue un événement très rare. Une meilleure adaptation à ce cas ne doit pas poser de problèmes particuliers.

Avant et après chaque pose on mesure le champ point par point le long de chaque trajectoire importante. Le nombre de points est de 31, convenablement répartis. Pour estimer l'erreur due au fait qu'on remplace l'intégrale dans le calcul de Hartree par une somme, une mesure a été faite degré par degré le long d'un demi-cercle arbitraire. En effectuant diverses sommes on a pu montrer que l'erreur due au nombre limité de mesures ne dépasse pas 10^{-6} .

L'ampoule en quartz scellée contenant une solution aqueuse de MnSO_4 (0,025 mol/dm³), qui a servi jusqu'ici comme échantillon pour toutes les mesures de champ magnétique, a été retirée de l'appareil et conservée pour d'éventuels contrôles ultérieurs; elle a été remplacée par une ampoule semblable.

Travaux récents

Après une courte interruption des expériences, nous avons repris le dépôt actif du thorium pour vérifier le bon fonctionnement du spectromètre. Le ^{212}Bi et le ^{212}Po ont été mesurés à deux valeurs différentes du champ; on a aussi mesuré α_{328} (1,7 % d'intensité) du ^{212}Bi . Ces expériences seront poursuivies.

Le Lawrence Radiation Laboratory nous a envoyé 1 mCi de ^{232}U exempt de ^{228}Th et de 5 à 10 μCi de ^{240}Pu . Nous avons mis ces substances en solution et commencé les mesures.

D'autre part, nous avons commencé une compilation des mesures absolues et relatives de tous les émetteurs alpha ayant une période suffisante pour que la connaissance précise de l'énergie soit utile, y compris ceux dont on ne pourra jamais mesurer l'énergie de manière absolue. La littérature contient en effet de nombreux résultats de mesures relatives susceptibles d'être révisés au moyen de nouveaux étalons.

Mesures neutroniques (V. D. Huynh, L. Lafaye, P. Bréonce)

Sources de neutrons $D(d, n)^3\text{He}$

L'activité expérimentale du groupe a consisté essentiellement en la poursuite des mesures de débit de fluence de neutrons rapides monocinétiques produits par la réaction $D(d, n)^3\text{He}$. Un effort particulier a été consacré à la détermination des corrections qu'il convient d'appliquer soit dans la détection des particules ^3He , soit dans la détection des neutrons.

Dans le système du centre de masse, le nombre de particules ^3He doit être égal au nombre de neutrons émis dans la direction opposée. Le comptage des ^3He au moyen d'une jonction, d'une part, et le comptage des neutrons au moyen d'un scintillateur hydrogéné dont on a mesuré l'efficacité, d'autre part, permettent de mesurer le débit de fluence de neutrons par ces deux méthodes différentes. Cette comparaison nécessite cependant l'introduction de différents facteurs de correction.

Afin de diminuer la contribution des neutrons diffusés par le sol, une plate-forme en caillebotis a été construite à 3 m du sol dans le hall expérimental; l'accélérateur électrostatique (Sames) et ses équipements associés sont maintenant posés sur cette plate-forme.

Grandeurs intervenant dans la comparaison

a) Facteurs de conversion k des angles solides du système du laboratoire au système du centre de masse. Les facteurs k sont déterminés par la cinématique de la réaction

$$k = \frac{\sin^2 \alpha \cos(\varphi - \alpha)}{\sin^2 \varphi},$$

où α et φ sont respectivement les angles d'observation dans le système du laboratoire (lab) et dans le système du centre de masse (cdm) (fig. 11).

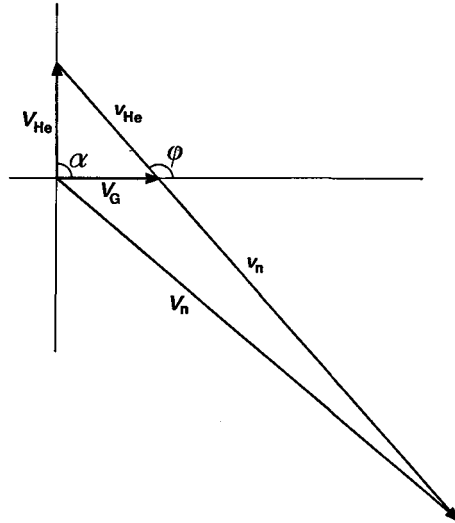


Fig. 11. — Diagramme des vitesses dans les systèmes du laboratoire (V) et du centre de masse (v).

V_G , vitesse du centre de masse. Cas pour $\alpha_{\text{He}} = 90^\circ$.

On voit que k dépend de l'énergie moyenne de la réaction, qui est calculée à partir de la section efficace de réaction et du pouvoir d'arrêt des deutons dans la cible.

Ainsi, le rapport des angles solides des deux détecteurs dans le système du centre de masse $\left(\frac{\Omega_n}{\Omega_{\text{He}}}\right)_{\text{cdm}}$ est, par définition, donné par la relation suivante :

$$\left(\frac{\Omega_n}{\Omega_{\text{He}}}\right)_{\text{cdm}} = \left(\frac{\Omega_n}{\Omega_{\text{He}}}\right)_{\text{lab}} \cdot \frac{k_{\text{He}}}{k_n}$$

b) *Nombre de neutrons Φ_{He} dans cdm, mesurés par détection des ^3He .* En prenant l'angle solide du détecteur de neutrons comme référence, nous avons :

$$(2) \quad \Phi_{\text{He}} = N_{\text{He}} \cdot \left(\frac{\Omega_n}{\Omega_{\text{He}}}\right)_{\text{lab}} \cdot \frac{k_{\text{He}}}{k_n}$$

où N_{He} est le nombre total de ^3He mesurés par la jonction.

c) *Nombre de neutrons Φ_n dans cdm, mesurés par détection des neutrons.*

$$\Phi_n = \frac{N_n}{\varepsilon} \cdot f$$

où N_n est le nombre total de neutrons, au-delà d'un seuil, détectés par le plastique scintillant. ε est l'efficacité, pour le seuil considéré, du détecteur de neutrons; elle est déterminée, pendant la mesure de comparaison des fluences, par le rapport du nombre de coïncidences ^3He -neutron au nombre de particules ^3He . f est un facteur de correction qui tient compte des effets tels que : neutrons diffusés, effet géométrique d'efficacité, anisotropie de la source, sources secondaires, etc.

Il s'agit donc finalement de comparer les deux quantités Φ_{He} et Φ_n qui doivent être égales.

Facteurs de correction

a) *Neutrons diffusés.* Ils ont deux origines :

— Neutrons diffusés par le support de la cible. Ce support étant en cuivre, on détermine la contribution du support à la diffusion en ajoutant derrière lui un disque de même métal; l'effet de diffusion entraîne une diminution du taux de coïncidences, ce qui se traduit par une diminution apparente de l'efficacité.

— Neutrons diffusés ambiants (ne provenant pas de la cible). On détermine leur contribution en mesurant la fluence des neutrons en fonction de la distance détecteur-cible.

b) *Effet géométrique d'efficacité.* L'efficacité ε_0 du scintillateur, déterminée expérimentalement par le rapport du nombre de coïncidences ^3He -neutron au nombre de ^3He , correspond seulement à des neutrons qui se propagent au voisinage de l'axe source-scintillateur, tandis que l'efficacité ε utilisée dans le calcul de fluence Φ_n correspond à des neutrons

atteignant le scintillateur en un point quelconque M de sa surface. On peut admettre (fig. 12) que :

$$\varepsilon = \frac{1}{\pi r^2} \int_0^r 2\pi x \, dx \frac{\varepsilon_0}{\cos \alpha}.$$

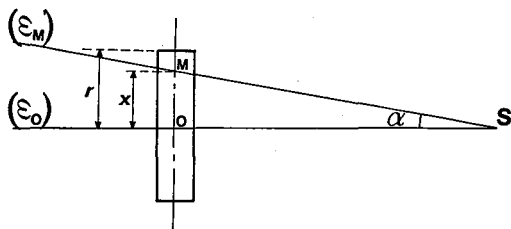


Fig. 12. — Effet géométrique d'efficacité.

c) *Effet d'anisotropie de la source.* La source de neutrons produits par la réaction $D(d, n)^3\text{He}$ est anisotrope. La section efficace par unité d'angle solide dans cdm est définie par

$$\left(\frac{d\sigma}{d\omega_{\text{cdm}}} \right)_{\varphi} = \left(\frac{d\sigma}{d\omega_{\text{cdm}}} \right)_{\pi/2} \cdot (1 + A \cos^2 \varphi)$$

où A est le facteur d'anisotropie.

Dans le système du laboratoire on aura :

$$\left(\frac{d\sigma}{d\omega_{\text{lab}}} \right)_{\alpha} = \frac{d\sigma}{d\omega_{\text{cdm}}} \cdot \frac{d\omega_{\text{cdm}}}{d\omega_{\text{lab}}} = \left(\frac{d\sigma}{d\omega_{\text{cdm}}} \right)_{\varphi} \cdot \left(\frac{1}{k_n} \right)_{\alpha} \sim (1 + A \cos^2 \varphi) / (k_n)_{\alpha}.$$

La comparaison entre la valeur de cette dernière quantité pour la direction centrale et sa moyenne pondérée étendue à tout l'angle solide couvert par le plastique scintillant permet de déduire l'effet d'anisotropie.

d) *Source secondaire.* Notre faisceau de deutons étant très bien focalisé, il passe au travers du diaphragme sans le toucher, ce qui rend négligeable le facteur de correction dû à la source secondaire.

Résultats expérimentaux

Dans les mesures précédentes (Rapport 1970, p. 77), des résultats concordants ont été obtenus pour Φ_{He} et Φ_n dans le cas de l'observation des particules ^3He à 150° . En revanche, on obtenait un écart systématique de 4,5 % lorsque l'angle d'observation des ^3He était de 90° . Nous avons poursuivi la recherche de l'origine de cet écart.

Nous avons d'abord constaté que dans le premier cas (^3He à 150°) la cible est perpendiculaire à la direction du faisceau incident, tandis que dans le second cas (^3He à 90°) elle est inclinée à 45° . Cela nous a incités à construire deux nouveaux dispositifs de détection des ^3He à 120° , l'un avec la cible perpendiculaire au faisceau et l'autre avec la cible inclinée à 45° . Nous donnons ci-dessous l'ensemble des résultats expérimentaux obtenus (tableaux X, XI, XII). Sauf indication contraire, les mesures ont été effectuées avec une distance cible-scintillateur de 8 cm, un seuil de détection des neutrons correspondant à des électrons d'énergie 50 keV et un faisceau de deutons de 100 keV, 2 μA .

TABLEAU X
Observation des ^3He à 90° (cible à 45°)

Mesure N°	Charges intégrées (μC)	Efficacité ε	Φ_{He} $\times 10^7$	Φ_n $\times 10^7$	$\frac{\Phi_n - \Phi_{\text{He}}}{\Phi_{\text{He}}}$ (%)
1	24 000	0,0897	1,722	1,802	+ 4,7
2*	24 000	0,0904	1,553	1,623	+ 4,5
3*	20 000	0,0919	1,276	1,320	+ 3,4
4	20 000	0,0905	1,817	1,897	+ 4,4
5	20 000	0,0903	2,067	2,178	+ 5,4
6	20 000	0,0779**	2,146	2,228	+ 3,8
7	20 000	0,0779**	2,082	2,172	+ 4,3
8	20 000	0,0918	2,081	2,170	+ 4,3
9	16 000	0,0923	1,701	1,772	+ 4,2
10	20 000	0,0913	1,928	1,995	+ 3,4
11	24 000	0,0917	2,598	2,709	+ 4,3
Moyenne					+ 4,2

* La distance cible-scintillateur est égale à 10 cm.

** Le seuil de détection des neutrons correspond à des électrons d'énergie 100 keV.

TABLEAU XI
Observation des ^3He à 120° (cible à 45°)

Mesure N°	Charges intégrées (μC)	Efficacité ε	Φ_{He} $\times 10^7$	Φ_n $\times 10^7$	$\frac{\Phi_n - \Phi_{\text{He}}}{\Phi_{\text{He}}}$ (%)
1	20 000	0,0898	2,148	2,223	+ 3,5
2	20 000	0,0896	2,422	2,521	+ 4,1
3	20 000	0,0900	2,340	2,429	+ 3,8
4	20 000	0,0899	2,385	2,465	+ 3,4
5*	20 000	0,0904	1,536	1,566	+ 2,0
6	20 000	0,0902	2,272	2,330	+ 2,6
7*	20 000	0,0899	1,676	1,713	+ 2,2
Moyenne					+ 3,1

* La distance cible-scintillateur est égale à 10 cm.

TABLEAU XII
Observation des ^3He à 120° (cible à 90°)

Mesure N°	Charges intégrées (μC)	Efficacité ε	Φ_{He} $\times 10^7$	Φ_n $\times 10^7$	$\frac{\Phi_n - \Phi_{\text{He}}}{\Phi_{\text{He}}}$ (%)
1	20 000	0,0903	2,817	2,791	- 0,9
2	20 000	0,0905	3,074	3,078	+ 0,1
3	20 000	0,0905	3,213	3,179	- 1,0
4	20 000	0,0893	3,167	3,185	+ 0,6
5	20 000	0,0901	3,221	3,224	≈ 0
6	20 000	0,0897	3,111	3,079	- 1,0
7*	20 000	0,0899	2,056	2,036	- 1,0
8	20 000	0,0898	2,915	2,914	≈ 0
9	20 000	0,0907	3,048	3,047	≈ 0
Moyenne					- 0,4

* La distance cible-scintillateur est égale à 10 cm.

Discussion des résultats

Avec les quatre porte-cibles dont nous disposons on obtient un accord satisfaisant entre les comptages Φ_{He} et Φ_n lorsque la cible est perpendiculaire à la direction du faisceau (observation des ^3He à 150° et à 120°), et un désaccord lorsque la cible est inclinée à 45° (écarts de + 4,2 % pour l'observation des ^3He à 90° et de 3,1 % pour l'observation à 120°). Une hypothèse a été avancée pour tenter d'expliquer ces résultats: l'effet de diffusion multiple coulombienne des deutons dans la cible (atomes de Ti) fait dévier le faisceau de sa direction initiale avant de produire la réaction. A cause de la disposition dissymétrique de la cible par rapport à la direction du faisceau dans le cas où elle est inclinée à 45° , l'effet de la diffusion coulombienne tend à faire augmenter l'angle d'observation des ^3He . Or le rapport des deux facteurs de conversion pour les ^3He et pour les neutrons, (k_{He}/k_n), figurant dans l'équation (2), augmente lorsqu'on augmente l'angle de détection des ^3He . Le tableau XIII donne une idée de cette variation.

TABLEAU XIII

α_{He} (degrés)	k_{He}/k_n	$\Delta \left(\frac{k_{\text{He}}}{k_n} \right) / \frac{k_{\text{He}}}{k_n}$ pour $\Delta\alpha_{\text{He}} = 10^\circ$
90	1,043	
100	1,132	8,6 %
110	1,226	8,2
120	1,319	7,6
130	1,410	6,8
140	1,492	5,8
150	1,562	4,7
160	1,616	3,4

Ainsi une augmentation de α_{He} de l'ordre de 5° pourrait expliquer les résultats expérimentaux obtenus. Malheureusement, un calcul théorique fondé sur la méthode de Monte-Carlo semble infirmer cette hypothèse.

Calcul de l'effet de diffusion multiple coulombienne des deutons

Le calcul par la méthode de Monte-Carlo s'effectue en tirant successivement au hasard, selon les lois de probabilité de diffusion coulombienne (pour des angles de diffusion petits) et de réaction, la position de l'atome de deutérium donnant lieu à la réaction, les chocs coulombiens successifs et les angles de déviation correspondants. De plus, on suppose que tous les deutons qui sont diffusés sous un angle supérieur à $+ 45^\circ$ sortent de la cible (approximation par excès). On voit ainsi s'il existe une dissymétrie de la distribution angulaire des deutons diffusés.

Les résultats du calcul donnent (pour une distribution homogène du

deutérium dans la cible) un angle moyen de diffusion multiple de 8° seulement et ne conduisent à aucune dissymétrie de la distribution. Dans le cas où il y a un dépôt sur la cible, le calcul donne un angle moyen de diffusion légèrement plus grand, mais toujours avec la même distribution symétrique.

Construction d'une plate-forme dans le hall expérimental

Toutes les mesures décrites ci-dessus ont été effectuées avec l'accélérateur électrostatique Sames posé sur le sol en béton dans le hall expérimental du bâtiment des mesures neutroniques. Pour une distance cible-détecteur (scintillateur) de 8 cm (scintillateur à 1 m du sol), la contribution des neutrons diffusés (par le porte-cible, les matériaux se trouvant au voisinage du scintillateur, le sol, etc.) est de 2 à 3 %, selon les cas.

Toutefois, en prévision d'une prochaine comparaison internationale de mesures de débits de fluence de neutrons rapides monocinétiques qui sera organisée par le Bureau International, on devra placer le détecteur à 50 cm ou à 1 m de la cible, pour avoir une précision suffisante sur cette distance. Dans ces conditions, la contribution des neutrons diffusés, en particulier par le sol en béton, va augmenter considérablement par rapport aux neutrons directs. D'après un calcul fait par C. F. Cook et T. R. Strayhorn (*Fast Neutron Physics*, 1, 1960, p. 811), pour un détecteur placé à 1 m de la cible et à 1 m du sol, la contribution des neutrons diffusés est de 16 % environ, tandis qu'à 3 m du sol elle ne représente que 3 % environ.

Nous avons donc construit une plate-forme en caillebotis (aluminium) à 3 m du sol, sur laquelle sont posés l'accélérateur Sames et l'ensemble des dispositifs pour les mesures de débit de fluence. Les nouvelles mesures sont en cours pour voir si la contribution des neutrons diffusés est réduite par rapport aux anciennes mesures.

Publications

Publications du Bureau (H. Moreau)

Depuis octobre 1970 le Bureau a publié :

1° *Procès-Verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures*, tomes 37 (58^e session, octobre 1969) et 38 (59^e session, octobre 1970).

2° *Le Système International d'Unités (SI)* (brochure de 36 pages).

3° *Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants* : Section I (Mesure des rayons X et γ), 1^{re} réunion (1970), avec 6 annexes.

4° *Recueil de Travaux du Bureau International des Poids et Mesures*, Volume 2 (1968-1970).

Publications extérieures

GIRARD (G.), L'Échelle Internationale Pratique de Température de 1968 (Historique, recherches entreprises pour son établissement). *Annuaire du Bureau des Longitudes pour l'an 1971*, pp. A1 à A50.

GIRARD (G.) et MENACHÉ (M.), Variation de la masse volumique de l'eau en fonction de sa composition isotopique. *Metrologia*, **7**, 1971, pp. 83-87.

GRENNBERG (B.), RYTZ (A.) et ASARO (F.), Mesure absolue de l'énergie α du ^{258}Es . *C. R. Acad. Sci.*, **272-B**, 1971, pp. 283-285.

GRENNBERG (B.) et RYTZ (A.), Corrective terms to the Hartree correction formula. *Nucl. Instr. Meth.*, **84**, 1971, pp. 83-89.

GRENNBERG (B.) et RYTZ (A.), Absolute measurements of α -ray energies. *Metrologia*, **7**, 1971, pp. 65-77.

RYTZ (A.), International comparison of ^{56}Mn activity in 1968. Report ANL-7642, 1969, pp. 21-26.

SAKUMA (A.) et DUHAMEL (M.), Mesure absolue de l'accélération de la pesanteur au Bureau International des Poids et Mesures. *Bull. Information de l'I.G.N.*, N° 11, pp. 8-19.

SAKUMA (A.), La mesure absolue de la pesanteur. *Comité National Français de Géodésie et Géophysique*, Rapport National (1967-1970), pp. 72-74.

SAKUMA (A.), Observations expérimentales de la constance de la pesanteur au Bureau International des Poids et Mesures. *Bull. Géodésique*, N° 100, juin 1971, pp. 159-163.

TERRIEN (J.), News from the Bureau International des Poids et Mesures. *Metrologia*, **6**, 1970, p. 150; **7**, 1971, pp. 43-44.

TERRIEN (J.), Résultat des 12^e comparaisons des étalons nationaux de résistance et de force électromotrice effectuées au Bureau International des Poids et Mesures. *Metrologia*, **7**, 1971, p. 78.

Rapports internes

Ces rapports constituent essentiellement des documents de travail; ils peuvent être fournis sur demande.

— Quelques problèmes concernant la méthode $4\pi\beta\text{-}\gamma$, par J. W. Müller (Rapport BIPM-70/5, juin 1970, 6 pages).

— Étude de comptage à l'aide d'un corrélateur, par J. W. Müller (Rapport BIPM-70/6, juillet 1970, 3 pages).

— Summary of formulae for the dead time distorted Poisson distribution, par J. W. Müller (Report BIPM-110, septembre 1970, 6 pages) ⁽⁴⁾.

— Counting statistics of a Poisson process with dead time. Part 1: General relations, par J. W. Müller (Report BIPM-111, octobre 1970, 14 pages).

— Sur la corrélation d'une série d'impulsions avec temps mort, par J. W. Müller (Rapport BIPM-70/8, décembre 1970, 3 pages).

— La résistance électrique des supports et des sources utilisés dans le comptage $4\pi\beta\text{-}\gamma$, par C. Colas et A. Rytz (Rapport BIPM-71/1, février 1971, 8 pages) ⁽⁴⁾.

— Interval densities for extended dead times, par J. W. Müller (Report BIPM-112, March 1971, 19 pages) ⁽⁴⁾.

— Sur un nouveau type de coïncidences fortuites, par J. W. Müller (Rapport BIPM-71/2, avril 1971, 5 pages).

⁽⁴⁾ Ce rapport sera publié dans le *Recueil de Travaux du B.I.P.M.*, Volume 3.

— Mémento des sous-programmes B.I.P.M., mis à jour périodiquement, par P. Carré et F. Lesueur (dernière mise à jour: mars 1971, au total 19 pages) (Rapport BIPM-71/3).

— Complément sur les paires de coïncidences fortuites, par J. W. Müller (Rapport BIPM-71/4, juillet 1971, 8 pages).

— Traitement statistique des résultats de mesure (*suite*). Exposés faits au B.I.P.M. par J. W. Müller, notes prises et rédigées par P. Carré (Rapport BIPM-108, 110 pages, 20 pages d'exercices, à suivre).

— Rapport sur la 12^e comparaison des étalons nationaux de force électromotrice (janvier-février 1970), par G. Leclerc ⁽⁵⁾.

— Rapport sur la 12^e comparaison des étalons nationaux de résistance électrique (décembre 1969 - mars 1970), par G. Leclerc ⁽⁵⁾.

Certificats et Notes d'étude

Du 1^{er} septembre 1970 au 31 août 1971, 44 Certificats et 1 Note d'étude ont été délivrés.

CERTIFICATS

1970

N°		
28.	Six étalons secondaires de température de couleur, N ^{OS} 1619, 2489, 2681, 2331, 2371, 2358	Office de Normalisation et des Mesures, Prague, Tchécoslovaquie.
29.	Trois étalons secondaires d'intensité lumineuse, N ^{OS} 2491, 2515, 2630 (Tc 2045 K)	Id.
30.	Quatre étalons secondaires d'intensité lumineuse, N ^{OS} 2487, 2493, 2502, 2635 (Tc 2357 K)	Id.
31.	Quatre étalons secondaires d'intensité lumineuse, N ^{OS} 2335, 2339, 2381, 2383 (Tc 2859 K)	Id.
32.	Cinq étalons secondaires de flux lumineux, N ^{OS} 3, 5, 6, 7, 8 (Tc 2357 K)	Id.
33.	Cinq étalons secondaires de flux lumineux, N ^{OS} A1, A2, A5, A6, A8 (Tc 2793 K)	Id.
34.	Cinq étalons secondaires de flux lumineux, N ^{OS} B1, B2, B3, B4, B5 (Tc 2793 K)	Id.
35.	Huit thermomètres à mercure	Institut de Métrologie, Bucarest, Roumanie.
36.	Trois étalons de force électromotrice, N ^{OS} 847, 848, 849 (addition)	Institut de Recherche de la Défense Nationale, Stockholm, Suède.
37.	Etalon de 1 ohm, N° FOA 3M-04906 (addition) ..	Id.
38.	Deux étalons de force électromotrice, N ^{OS} 7505 et 7507 (addition)	Det Norske Justervessen, Oslo, Norvège.

⁽⁵⁾ Ce rapport sera publié dans les comptes rendus de la 13^e session du Comité Consultatif d'Électricité.

1970 (suite)

N°		
39.	Etalon de 1 ohm, N° 76 124 (addition)	Office National des Mesures, Budapest, Hongrie.
40.	Quatre fils de 24 m, N ^{OS} 490 à 493 ; un fil de 8 m, N° 474 (addition)	Mission Géographique de l' Angola, Nova-Lisboa, Angola.
41.	Quatre fils de 24 m, N ^{OS} 65 à 68 ; un fil de 8 m, N° 60 (addition)	Survey of Egypt, Giza, République Arabe Unie.
42.	Quatre fils de 24 m, N ^{OS} 560 à 563 ; un fil de 8 m, N° 61 (addition)	Id.
43.	Deux fils de 24 m, N ^{OS} S512 et 1321 (addition)	Société Française de Stéréo- topographie, Paris, France.
44.	Trois étalons secondaires d'intensité lumi- neuse, N ^{OS} W32, W34, W36 (Tc 2357 K) (addition)	Office National des Mesures, Budapest, Hongrie.
45.	Six étalons secondaires d'intensité lumi- neuse, N ^{OS} 1890, 1992, 2006, 2029, 2078, 2110 (Tc 2859 K)	Id.
46.	Cinq étalons secondaires de flux lumineux, N ^{OS} 11/995, 12/996, 13/997, 14/998, 16/001 (Tc 2793 K)	Id.
47.	Cinq étalons secondaires d'intensité lumi- neuse, N ^{OS} 10PL, 11PL, 12PL, 13PL, 14PL (Tc 2859 K)	Bureau National de la Qualité et des Mesures, Varsovie, Pologne.
48.	Quatre étalons secondaires de flux lumineux, N ^{OS} 5PL, 6PL, 7PL, 9PL (Tc 2357 K)	Id.
49.	Quatre étalons secondaires de flux lumineux, N ^{OS} 1PL, 9657, 9658, 9660 (Tc 2793 K)	Id.
50.	Fil de 24 m, N° 533	S.R.P.I. - Morin, Paris, France.
51.	Trois fils de 24 m, N ^{OS} 539, 651 et 653	Public Power Corporation, Athènes, Grèce.

1971

1.	Quatre fils de 24 m, N ^{OS} 460 à 463 ; un fil de 8 m, N° 471 (addition)	Mission Géographique de l' Angola, Nova-Lisboa, Angola.
2.	Ruban de 4 m en invar, 1204 N3 N° 58 (addition)	Id.
3.	Trois étalons de force électromotrice, N ^{OS} 378 257 B, 378 322, 378 351 (addition)	Société Anonyme Belge de Constructions Aéronautiques, Bruxelles, Belgique.
4.	Etalon de 0,1 ohm, N° 134 899 MF01 (addition).	Id.
5.	Deux étalons de 1 ohm, N ^{OS} 1 617 922 et 134 900 MF01 (addition)	Id.
6.	Trois fils de 35 m, N ^{OS} 10 943, 10 944 et 10 945	Société Française de Stéréo- topographie, Paris, France.

1971 (suite)

N°		
7.	Quatre étalons de force électromotrice, N ^{OS} 7419, 7421, 7590 et 7591	National Research Council, Ottawa, Canada.
8.	Etalon de force électromotrice, N° 7416	Matériel Electro-Chimique, Paris, France.
9.	Etalon de force électromotrice, N° 7406	Id.
10.	Règle de 200 mm, N° 16 221	Istituto Di Metrologia "G. Colonnetti", Turin, Italie.
11.	Règle de 200 mm, N° 16 223	Centre d'Essais en Vol, Brétigny-sur-Orge, France.
12.	Règle de 1 m, N° 12 925, en acier nickelé	National Research Council, Ottawa, Canada.
13.	Deux étalons de force électromotrice, N ^{OS} 347 902 A et B	Office National des Mesures, Budapest, Hongrie.
14.	Etalon de force électromotrice, N° 397 383 ...	Id.
15.	Deux étalons de force électromotrice, N ^{OS} 1759001, 1759005	National Research Council, Ottawa, Canada.
16.	Deux étalons de force électromotrice, N ^{OS} 1719604, 1719605	Id.
17.	Quatre étalons de force électromotrice, N ^{OS} 1759002, 1759003, 1759004, 1759006	Matériel Electro-Chimique, Paris, France.
18.	Quatre étalons de force électromotrice, N ^{OS} 1719600, 1719601, 1719602, 1719603	Id.
19.	Etalon de 1 ohm, N° 1758744	Centre d'Approvisionnement de l'OTAN, Capellen, Luxembourg.
20.	Deux étalons de 1 ohm, N ^{OS} 78 564 et 78 577 ..	Urad pro Normalizaci, Prague, Tchécoslovaquie.

NOTE D'ETUDE

1971

- | | | |
|----|--|---|
| 1. | Dilatabilité de 2 longueurs d'invar de 24 m .. | Organisation Européenne pour la
Recherche Nucléaire (CERN),
Genève, Suisse. |
|----|--|---|

IV. — ACTIVITÉS ET RELATIONS EXTÉRIEURES

Documentation ; Système International d'Unités (H. Moreau)

Le Bureau International est toujours fréquemment sollicité pour des renseignements de natures diverses sur ses activités, sur le SI et les unités de mesure en général.

Pour ce qui concerne la situation du SI dans les pays métriques et les progrès du Système Métrique dans le monde depuis 1968, un rapport sera présenté à la 14^e Conférence Générale des Poids et Mesures (6).

(6) Voir *Comptes rendus des séances de la 14^e Conférence Générale des Poids et Mesures* (octobre 1971), Annexe 3.

Travaux en liaison avec des organismes internationaux et nationaux (Voir aussi Voyages, visites, conférences et exposés du personnel)

Le Bureau International collabore, comme il se doit, aux travaux de commissions de normalisation, terminologie, unités de diverses organisations internationales et françaises : Commission Internationale de l'Éclairage, Unions Internationales de Physique Pure et Appliquée, de Chimie Pure et Appliquée, Commission Électrotechnique Internationale, Organisation Internationale de Normalisation (ISO/TC 12), Association Française de Normalisation, etc.

Il participe, au sein de l'Association « Common-Europe », aux travaux de la Commission des programmes de la section française, dont le rôle est de promouvoir l'échange bénévole de programmes et sous-programmes pour petits ordinateurs IBM, afin d'accroître l'efficacité ou la facilité d'utilisation de ces ordinateurs.

Plusieurs membres du personnel (J. Terrien, P. Giacomo, A. Allisy, A. Rytz, G. Leclerc, J. Bonheure) ont pris part aux réunions des groupes de travail du Bureau National de Métrologie français.

Voyages, Visites, Conférences et Exposés du personnel

Dans la liste qui suit, le signe ++ ou + indique un déplacement effectué sur invitation d'un organisme international, national ou privé, et dont les frais ont été pris en charge par cet organisme, totalement (++) ou partiellement (+).

Le directeur du Bureau a participé aux réunions suivantes :

en juin 1971 : participation aux travaux du sous-comité 2 de l'I.S.O./TC 12, à Stockholm, sur le Système International d'Unités et le choix des multiples et sous-multiples d'emploi pratique dans les divers domaines ; visite au Prof. Rudberg, président de la Commission Symboles-Unités-Nomenclature de l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée ;

participation très partielle à la réunion générale de la Commission Électrotechnique Internationale, à Bruxelles ;

en juillet 1971 : participation à l'Assemblée Générale de l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée⁺, à Washington, particulièrement à la Commission 1.1 (Symboles, Terminologie et Unités physicochimiques) et à la Commission 1.4 (Mesures et étalons physicochimiques) ; visite au National Bureau of Standards ;

visite à l'Université de Toronto et aux laboratoires du Conseil National de Recherches d'Ottawa ;

en août 1971 : participation aux travaux de l'I.S.O./TC 12 et de la Commission Symboles-Unités-Nomenclature de l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée, à Sèvres ;

participation à l'Assemblée Générale de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale à Moscou, accompagné de A. Sakuma et G. Girard ; visite de l'Institut de Métrologie D. I. Mendéléév à Leningrad ;

en septembre 1971 : participation partielle à la Conférence organisée à Teddington par la Commission 13 (Masses atomiques et Constantes physiques) de l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée ;

participation, avec J. Bonhoure, à l'Assemblée générale de la Commission Internationale de l'Éclairage à Barcelone, en particulier aux Comités d'Experts E-1.1 (Définitions-Vocabulaire) et E-1.2 (Photométrie).

Du 6 au 10 septembre 1971, P. Giacomo⁺, A. Allisy⁺, A. Rytz, A. Sakuma et J. W. Müller ont participé à la Conférence sur les Masses Atomiques et Constantes Fondamentales organisée par l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée au N.P.L. (Teddington); P. Giacomo, A. Rytz, A. Sakuma et J. W. Müller y ont présenté chacun une communication.

P. Giacomo a participé aux autres réunions suivantes :

18 et 19 novembre 1970 : Journées de Métrologie organisées par le Bureau National de Métrologie (Paris); il y a donné une conférence sur « la métrologie des longueurs »;

21 au 24 juin 1971 : Séminaire, à Genève, sur le contrôle continu des couches minces pendant leur dépôt, et présentation d'un exposé d'ensemble sur « les procédés de contrôle optiques »; visite, à cette occasion, du Bureau Fédéral des Poids et Mesures Suisse et de la Société Genevoise d'Instruments de Physique.

6 juillet : conférence sur l'« Évaluation interférentielle des longueurs et des épaisseurs » donnée à l'« École d'été sur l'optique moderne en métrologie » organisée par la Commission Internationale d'Optique à l'Institut d'Optique (Orsay).

A. Allisy a fait, du 6 au 12 septembre 1970⁺⁺, une série de conférences au Centro de Investigaciones Físicas «Leonardo Torres Quevedo», à Madrid, sur l'Analyse et le traitement de données expérimentales;

du 19 au 23 avril 1971, il a assisté à un symposium organisé à Genève conjointement par l'A.I.E.A., l'O.M.S. et le C.E.R.N. sur « The practical application of quantities, units and measurements methods in radiation dosimetry for radiological and protection purposes ».

A. Sakuma s'est rendu les 9 et 10 mars 1971⁺⁺ à l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin, dans le cadre de la collaboration scientifique avec cet institut concernant la gravimétrie;

il a participé, du 25 au 27 mai 1971, au Colloque d'Évian de la Société Française de Physique où le Prix Esclançon lui a été remis pour ses travaux sur la mesure absolue de g .

A. Rytz a participé, le 20 novembre 1970, au 10^e anniversaire du B.C.M.N. d'Euratom (Geel);

il s'est rendu à Uppsala du 18 au 21 avril 1971 où il a assisté, en tant que « 2^e opposant », à la soutenance de thèse de B. Grennberg; il a visité à cette occasion, le 22 avril, l'Institut de recherche en physique à Stockholm.

H. Moreau⁺⁺ a participé, en tant que secrétaire du Comité E-1.1 de la Commission Internationale de l'Éclairage, à la 17^e session de cette Commission (Barcelone, 7-15 septembre 1971).

J. W. Müller s'est rendu du 8 au 11 décembre 1970⁺ au B.C.M.N. (Geel), où il a fait deux conférences sur : « Some new methods for measuring dead times » et « Experimental analysis of counting processes by means of a correlation method »;

il a visité la P.T.B. (Braunschweig) du 16 au 19 février 1971⁺ où il a fait une conférence sur « Methoden zur Messung von Totzeiten »;

du 19 avril au 10 mai 1971 il a participé, au N.P.L. (Teddington), à des expériences destinées à contrôler l'exactitude des formules qui sont habituellement utilisées pour déterminer une activité à l'aide de la méthode $4\pi\beta\text{-}\gamma$; il a présenté le 4 mai un exposé intitulé « On the statistics of a dead time distorted Poisson distribution ».

V. D. Huynh et L. Lafaye ont visité les laboratoires de mesures neutroniques du Centre d'Études Nucléaires de Cadarache (France), les 4 et 5 mars 1971.

F. Lesueur a suivi, du 7 au 23 décembre 1970, le cours de programmation « IBM 1130 » au siège de la Société I.B.M., à Boulogne-sur-Seine.

Dans le cadre de l'information du personnel du Bureau International, deux séries d'exposés ont été présentées :

— par J. W. Müller : suite de la série, commencée en mai 1969, sur le « Traitement statistique des résultats de mesure » (voir Rapports internes, p. 71);

— par P. Carré, avec la collaboration de F. Lesueur : Cours de programmation en langage « Fortran », avec quelques séances d'exercices.

Visites et Stages au Bureau International

Les visites de physiciens, professeurs, groupes de chercheurs ou d'étudiants de toutes nationalités sont toujours très nombreuses. Nous ne citerons que les stages et visites qui ont une répercussion directe sur les travaux du Bureau International.

M^{lle} M.-T. Niatel et M^{me} M. Boutillon (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale, Paris) et M^{lle} A.-M. Roux (Service Central de Protection contre les Rayonnements Ionisants, Paris) ont poursuivi leur participation au travail du groupe des rayons X.

Mr P. Brun (Service Central de Protection contre les Rayonnements Ionisants, Paris) effectue depuis décembre 1970 un stage dans le groupe des rayons X et γ de la Section des rayonnements ionisants.

Mr B. Grennberg (Institut de Physique de l'Université d'Uppsala) a terminé son stage le 31 décembre 1970. A son retour en Suède, il a soutenu brillamment une thèse sur les travaux qu'il a poursuivis pendant un peu plus de quatre ans au Bureau International (mesure absolue des énergies alpha).

M^{me} Trueta Segovia Ma. de Nuria (Projet d'étalonnage de radio-nucléides au Mexique) a fait un stage dans notre laboratoire du 1^{er} septembre au 27 octobre 1970. Elle s'est familiarisée avec toutes les manipulations, a pris part aux travaux en cours et a préparé et mesuré un certain nombre de sources qu'elle a ensuite emportées au Mexique.

Mr N. Goussiev (Institut des Recherches Scientifiques de Géodésie et de Cartographie, Moscou) et Mr D. Bokov (Institut de Recherches Scientifiques de Géologie de l'Arctique, Leningrad), accompagnés de M^{lle} Bourlai (interprète), ont effectué un stage à la section de gravimétrie du 17 au 25 septembre 1970.

MM. L. Bankuti et G. Viraghalmy (Office National des Mesures, Budapest) ont passé quelques jours au B.I.P.M. (du 12 au 16 octobre 1970) pour se familiariser avec nos méthodes de mesures électriques et photométriques.

Mr Dj. Bek-Uzarov et M^{me} Lj. Dobrilović (Institut Boris Kidrič, Belgrade) ont visité le laboratoire des radionucléides le 9 novembre 1970.

Mr G. Cerutti (Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin) a participé du 16 au 27 novembre 1970 aux travaux de la section de gravimétrie.

Mr Z. Referowski (Centralny Urzad Jakosci i Miar, Varsovie) a fait un stage dans la Section des rayonnements ionisants du 8 décembre 1970 au 5 mai 1971. Il a pris une part très active aux travaux relatifs à la mesure de l'exposition dans le rayonnement γ du ^{60}Co et a participé à la comparaison des étalons d'exposition du N.B.S. et du B.I.P.M.; du 16 mars au 2 avril il a fait un stage au laboratoire des radionucléides pour compléter ses connaissances sur l'étalonnage des sources.

Mr Huet (Université de Caen) est venu essayer le 9 février 1971 son appareil à résonance de protons dans un champ magnétique connu; nous lui avons prêté une de nos sondes.

Mr R. Kaarls (Laboratoire Central du Service de la Métrologie des Pays-Bas) est venu discuter le 4 mars 1971 de questions intéressant la conservation de l'« ohm », du « volt » et du « farad ».

Mr T. P. Loftus (National Bureau of Standards, Washington) et Mr W. Oetzmann (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig) ont participé, le premier du 26 avril au 3 mai 1971, le second du 21 juin au 2 juillet, à la comparaison des étalons d'exposition de leur laboratoire avec l'étalon du B.I.P.M.

MM. C. E. Granados et A. Brosed (Junta de Energia Nuclear, Madrid) ont séjourné au Bureau International du 18 mai au 23 juin 1971 afin de comparer les diaphragmes de leur étalon d'exposition avec ceux du B.I.P.M.; ils ont également comparé ionométriquement leurs filtres d'aluminium avec les nôtres et étalonné quelques thermistances.

Mr Sundara Rao (Bhabha Atomic Research Centre, Trombay, Inde) est venu le 3 juin 1971 pour étalonner deux chambres de transfert, l'une dans le rayonnement γ du ^{60}Co , l'autre aux rayons X, en vue d'une comparaison indirecte de ses étalons d'exposition avec ceux du Bureau International.

Nous avons accueilli à diverses reprises, de février à avril 1971, deux groupes de quatre élèves de l'Institut Universitaire de Technologie (avenue de Versailles, Paris) pour qu'ils s'initient au traitement de quelques problèmes concrets de gestion au moyen de notre ordinateur.

V. — COMPTES

Les tableaux suivants sont la reproduction des tableaux qui figurent dans le « Rapport Annuel sur la situation administrative et financière du Bureau International des Poids et Mesures » relatif à l'exercice 1970.

Compte I. — Fonds ordinaires

RECETTES

	francs-or
Actif au 1 ^{er} janvier 1970.....	1 509 404,64
Recettes budgétaires.....	<u>2 327 227,23</u>
Total.....	<u><u>3 836 631,87</u></u>

DÉPENSES

	francs-or
Dépenses budgétaires.....	2 117 718,37
Différences de change.....	5 072,62
Versement au compte « Remboursements aux États ».....	8 142,00
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1970.....	<u>1 705 698,88</u>
Total.....	<u><u>3 836 631,87</u></u>

DÉTAIL DES RECETTES BUDGÉTAIRES

Versements de contributions ordinaires :

	francs-or
au titre de l'exercice 1970.....	1 830 642,00
au titre des exercices antérieurs.....	256 414,00
	} 2 087 056,00

Versements de contributions exceptionnelles :

Inde (27 février) : troisième contribution.....	26 180,00	} 39 430,00
Chili (16 décembre) : les trois contributions.....	13 250,00	
Intérêts des fonds.....	60 695,22	
Taxes de vérification.....	8 690,75	
Remboursements des taxes sur les achats.....	128 864,87	
Recettes diverses.....	<u>2 490,39</u>	
Total.....	<u><u>2 327 227,23</u></u>	

DÉTAIL DES DÉPENSES BUDGÉTAIRES

Chapitres	Dépenses de l'exercice	Prévisions budgétaires	Économies	Dépassements
	francs-or	francs-or	francs-or	francs-or
A. Dépenses de personnel :				
1. Traitements.....	963 461,98	1060 000	96 538,02	-
2. Allocations familiales.....	58 453,61	60 000	1 546,39	-
3. Sécurité sociale.....	49 212,29	52 000	2 787,71	-
4. Assurance-accidents.....	8 915,59	10 000	1 084,41	-
5. Caisse de Retraites.....	106 000	106 000	-	-
B. Dépenses de fonctionnement :				
1. Bâtiments (entretien).....	278 976,78	160 000	-	118 976,78
2. Mobilier.....	5 213,13	4 500	-	713,13
3. Laboratoires et ateliers.....	213 987,93	270 000	56 012,07	-
4. Chauffage, eau, énergie électrique.....	72 827,74	75 000	2 172,26	-
5. Assurances.....	3 069,76	5 000	1 930,24	-
6. Impressions et publications.....	21 753,11	32 000	10 246,89	-
7. Frais de bureau.....	33 116,21	35 000	1 883,79	-
8. Voyages.....	38 846,63	24 000	-	14 846,63
9. Bureau du Comité.....	11 500	11 500	-	-
C. Dépenses d'investissement :				
1. Laboratoires.....	173 191,51	290 000	116 808,49	-
2. Atelier de mécanique.....	12 271,02	20 000	7 728,98	-
3. Atelier d'électronique.....	10 269,96	11 000	730,04	-
4. Bibliothèque.....	15 044,31	16 000	955,69	-
D. Frais divers et imprévus.....	41 606,81	114 000	72 393,19	-
E. Utilisation de monnaies non convertibles.....				
	-	70 000	70 000	-
Totaux.....	2 117 718,37	2 426 000	442 818,17	134 536,54

Compte II. — Caisse de Retraites

RECETTES

Actif au 1 ^{er} janvier 1970.....	francs-or 249 714,20
Intérêts des fonds.....	10 297,22
Retenues sur les traitements.....	46 055,81
Rachat de cotisations.....	8 355,93
Virement du Compte I.....	106 000,00
Total.....	420 423,16

DÉPENSES

Pensions de l'année.....	francs-or 90 943,48
Rappel de pensions.....	38 262,93
Remboursement des cotisations d'un technicien démissionnaire...	3 243,34
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1970.....	287 973,41
Total.....	420 423,16

Compte III. — Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique

Ce compte n'a enregistré en 1970 aucun mouvement en recette ou en dépense. Comme au 1^{er} janvier 1970, il se présente ainsi :

ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1970.....	francs-or. <u>8 663,59</u>
--------------------------------	-------------------------------

Bilan

AU 31 DÉCEMBRE 1970

Compte I « Fonds ordinaires ».....	francs-or 1 705 698,88
Compte II « Caisse de Retraites ».....	287 973,41
Compte III « Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique ».....	<u>8 663,59</u>
ACTIF NET.....	<u>2 002 335,88</u>

Cet actif se décompose comme suit :

a. Fonds déposés en banque :

1° En monnaie française.....	francs-or 266 118,28
2° » U. S. A.....	1 130 174,54
3° » suisse.....	574 247,23
4° » britannique.....	25 226,26
5° » hongroise.....	747,06
6° » polonaise.....	7 160,62
b. Espèces en caisse.....	<u>6 803,89</u>

Total.....	2 010 477,88
-------------------	---------------------

A déduire :

Provision pour remboursements aux États.....	8 142,00
--	----------

ACTIF NET.....	<u>2 002 335,88</u>
-----------------------	----------------------------

PREMIER RAPPORT

DE LA SECTION II (Mesure des radionucléides)

DU

COMITÉ CONSULTATIF
POUR LES ÉTALONS DE MESURE
DES RAYONNEMENTS IONISANTS (*)

AU

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Par A. SPERNOL, Rapporteur

La Section II (Mesure des radionucléides) du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants (C.C.E.M.R.I.) a tenu sa première réunion au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les 19, 20 et 21 octobre 1970.

Étaient présents :

- P. J. CAMPION (National Physical Laboratory [N.P.L.], Teddington), président de la Section II.
- A. P. BAERG (Conseil National de Recherches [N.R.C.], Ottawa).
- C. E. GRANADOS (Junta de Energia Nuclear [J.E.N.], Madrid).
- B. GRINBERG (Centre d'Études Nucléaires de Saclay [C.E.N.], Gif-sur-Yvette).
- W. B. MANN (National Bureau of Standards [N.B.S.], Washington).
- A. SPERNOL (Bureau Central de Mesures Nucléaires d'Euratom [B.C.M.N.], Geel).

* Suivant la terminologie maintenant établie dans le langage scientifique français, l'expression *Rayonnements Ionisants* remplace désormais « Radiations Ionisantes » qui a été employée depuis la création de ce Comité Consultatif en 1958.

Par décision du Comité International des Poids et Mesures (1969), le Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants est maintenant constitué de quatre Sections indépendantes.

J. G. V. TAYLOR (Atomic Energy of Canada Limited [A.E.C.L.], Chalk River).

H. M. WEISS (Physikalisch-Technische Bundesanstalt [P.T.B.], Braunschweig).

A. WILLIAMS (National Physical Laboratory [N.P.L.], Teddington).

Le directeur du B.I.P.M. (J. TERRIEN).

Invité : H. HOUTERMANS (Agence Internationale de l'Énergie Atomique [A.I.E.A.], Vienne).

Excusés : A. H. W. ATEN, Jr. (Instituut voor Kernfysisch Onderzoek [I.K.O.], Amsterdam).

A. KARAVAEV (Institut de Métrologie D. I. Mendéléev [I.M.M.], Leningrad).

M^{me} B. KARLIK (Institut für Radiumforschung und Kernphysik [I.R.K.], Vienne).

Assistaient également à la réunion : P. Giacomo, sous-directeur du B.I.P.M.; A. Allisy, A. Rytz, J. W. Müller, V. D. Huynh; M^{lle} Guégan (B.I.P.M.).

Mr *Terrien* souhaite la bienvenue aux participants et fait un bref exposé sur la nouvelle structure du C.C.E.M.R.I. Le Comité International des Poids et Mesures, lors de sa réunion d'octobre 1969, a décidé de réorganiser ses différents Comités Consultatifs. Dans le cas du C.C.E.M.R.I. le travail scientifique était effectué jusqu'ici en majeure partie au sein des groupes de travail. Pour cette raison, le Comité Consultatif a été scindé en quatre Sections indépendantes :

- I. Mesure des rayons X et γ
- II. Mesure des radionucléides
- III. Mesures neutroniques
- IV. Étalons d'énergie alpha.

Chaque Section présentera son rapport directement au C.I.P.M., ce qui permettra à l'avenir d'accélérer la publication de ces documents.

Mr *Terrien* remercie ensuite Mr *Campion* d'avoir bien voulu accepter la présidence de cette Section II.

Mr *Campion* remercie Mr *Terrien* de ses paroles de bienvenue et rend hommage à Mr *Aten* pour le travail qu'il a effectué dans le passé, quand il était président du Groupe de travail pour la mesure des radionucléides. Il met en relief les principaux points de l'ordre du jour et prie les membres de faire part d'éventuelles idées nouvelles concernant le travail de la Section.

Mr *Spernol* est nommé rapporteur pour cette réunion.

Attributions et programme de travail de la Section II

Le but essentiel de la réunion est de commencer par redéfinir les attributions de la Section dans le cadre de la nouvelle organisation, de façon à orienter son travail futur. A la demande de Mr Taylor, Mr *Terrien* passe en revue les principes directeurs du travail des Comités Consultatifs : amélioration des mesures, échange d'informations scientifiques et élaboration de recommandations à présenter au C.I.P.M. Mr *Campion* propose de définir les attributions de la Section comme suit : « Le travail de la Section est orienté vers une amélioration de l'exactitude et de l'uniformité des mesures de radioactivité et vers l'établissement d'étalons internationaux ». Cette formulation sert de base aux discussions qui suivent.

L'expression « étalons internationaux de radioactivité » n'est pas acceptée par tous ; certains proposent d'élargir le domaine en y ajoutant une étude des schémas de désintégration ou même des estimations. Par ailleurs, le travail de la Section devrait servir l'économie des pays intéressés. Plusieurs membres insistent sur le fait qu'il ne faudrait pas se limiter à l'organisation de grandes comparaisons internationales, mais qu'il conviendrait d'entreprendre des études plus limitées. De plus, la diffusion des informations scientifiques, y compris des recommandations concernant des techniques de mesure (« enseignement » dans un sens très limité) devrait être considérée.

Mr *Mann* réitère une proposition antérieure et demande que le Bureau International mesure, au moyen d'une chambre d'ionisation, tous les « étalons nationaux » provenant des laboratoires. Tous les membres n'interprètent pas de la même façon le sens de l'expression « mesures absolues », mais tous reconnaissent que, même si l'on doit donner la priorité aux « mesures absolues », telles qu'elles sont généralement comprises, les mesures relatives exactes (qui entrent dans la conservation des étalons, par exemple) ne doivent pas être exclues.

Après plusieurs suggestions en vue d'améliorer le texte original, la formulation suivante est acceptée :

« Le travail de la Section II doit tendre à l'amélioration de l'exactitude et de l'uniformité des mesures dans le domaine de la radioactivité. Ce travail comprend également l'étude des paramètres nécessaires à ces mesures et à leur application. Parallèlement à la poursuite de ce but, il importe d'étudier les possibilités de diffusion des rapports des comparaisons internationales et des études particulières ».

Problèmes particuliers à étudier

Lors de la discussion des attributions de la Section II, tous les membres admettent que cette Section ne doit pas s'occuper exclusivement de l'organisation de grandes comparaisons internationales, qui sont onéreuses,

mais doit s'intéresser également à des études plus limitées, comprenant des comparaisons restreintes. Il fut souligné que, dans bien des cas, le succès d'une comparaison à l'échelle internationale est considérablement augmenté si elle est précédée d'une comparaison limitée à quelques laboratoires. Bien que la Section soit consciente de l'importance que présentent les comparaisons internationales pour tous les laboratoires nationaux, il semble qu'un travail considérable soit nécessaire pour obtenir une amélioration sensible des résultats. Mr *Campion* et la plupart des membres pensent que la meilleure façon de servir actuellement les intérêts de la communauté scientifique consiste à diffuser des rapports sur des sujets traitant de la métrologie des radionucléides. Ces rapports (dont la préparation peut nécessiter des mesures ou des comparaisons restreintes) permettraient de jeter les bases de grandes comparaisons internationales.

De nombreuses propositions sont faites pour de tels rapports. Elles sont groupées ci-après :

A. *Mesures « absolues » (ou exactes)*

1. Principe de la méthode des coïncidences, et plus particulièrement corrections dépendant du taux de comptage;
2. Technique de dilution et de pesée, et de dépôt des sources;
3. Corrections dépendant du schéma de désintégration (dépendance de l'efficacité, y compris les techniques du traceur);
4. Fiabilité du comptage par scintillateurs liquides, en particulier pour les émetteurs β purs;
5. Mesures absolues de nucléides à capture électronique pure;
6. Étalonnage de détecteurs au Ge(Li) et au Si(Li) (y compris les sources à énergies multiples);
7. Techniques de référence pour la conservation d'étalons radioactifs de toutes sortes;
8. Impulsions secondaires dans les compteurs;
9. Tests de pureté radionucléidique;
10. Stabilité des sources et des solutions;
11. Problèmes inhérents à la mesure du coefficient total de conversion interne du ^{203}Hg .

B. *Paramètres nucléaires*

12. Schémas de désintégration nécessaires pour l'étalonnage des détecteurs au Ge(Li), au Si(Li) et au Na(I), par exemple ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{56}Co , ^{57}Co , ^{85}Sr , ^{88}Y , ^{109}Cd , ^{133}Ba , ^{139}Ce , ^{141}Ce , ^{203}Hg , ^{241}Am , etc.;
13. Schémas de désintégration des nucléides à transitions retardées, par exemple ^{109}Cd , ^{137}Cs , ^{207}Bi , etc.;
14. Périodes radioactives, par exemple ^{131}I , ^{133}Ba , etc.

C. *Comparaisons internationales*

15. Étalons de dilution;
16. Série de « micro-masses »;

17. ^{14}C ;
18. ^{252}Cf ;
19. ^{241}Am (0,05 % d'exactitude pour les sources solides);
20. ^{55}Fe ;
21. ^{133}Xe ;
22. $^{99\text{m}}\text{Tc}$;
23. ^{57}Co ;
24. ^{134}Cs (désintégration complexe);
25. ^{35}S ;
26. ^{63}Ni ;
27. $^{110\text{m}}\text{Ag}$;
28. ^{137}Cs ;
29. ^{109}Cd ;
30. ^{141}Ce .

D. *Étude de sujets divers*

31. Périodes radioactives;
32. Données sur la capture électronique;
33. Données sur la conversion;
34. Impuretés dans les substances radioactives disponibles sur le marché.

Bien que diverses comparaisons aient été proposées au cours de la discussion du paragraphe C, on décide de concentrer actuellement l'effort sur les sujets mentionnés au paragraphe A. Cependant, Mr *Houtermans* regrette la décision de n'entreprendre aucune grande comparaison internationale dans un proche avenir, car il sait que plusieurs laboratoires aimeraient y participer, surtout ceux des pays en voie de développement. Ce désir est noté et la question de l'aide à apporter à ces pays est discutée en détail (voir p. 89).

Groupes de travail

Mr *Campion* propose que de petits groupes soient formés. Ils seront chargés de l'étude de problèmes particuliers, organiseront eux-mêmes leur travail et présenteront à la prochaine réunion des rapports préliminaires (ou finaux, de préférence) et des propositions concernant le travail à entreprendre par la Section. Ces groupes accepteront la participation de membres de laboratoires qui ne sont pas représentés dans la Section II. Les groupes de travail suivants sont constitués :

MM. Granados, Müller (C) ⁽¹⁾ et Taylor acceptent d'étudier le problème « Principe de la méthode des coïncidences, et plus particulièrement

(1) (C) signifie « coordinateur » (voir plus loin).

corrections dépendant du taux de comptage », et proposent le titre provisoire suivant : « Quelques problèmes liés aux effets de mémoire dans les comptages par coïncidences ». Mr Müller est incité à publier ses recherches actuelles dès que possible, même si les résultats sont encore incomplets. Mr *Granados* demande des suggestions pour le programme de travail, particulièrement en ce qui concerne :

a) l'exactitude des méthodes actuelles de mesure des temps morts (y compris une comparaison éventuelle);

b) les impulsions secondaires et autres problèmes rencontrés dans le comptage de sources d'activité élevée.

MM. *Baerg*, *Houtermans* et *Taylor* sont intéressés par une « comparaison internationale de temps morts ». Mr *Campion* suggère que MM. *Granados* et Müller préparent et diffusent un questionnaire sur ces problèmes et proposent ensuite d'autres travaux éventuels.

Une proposition de MM. *Grinberg* et *Spernal* de distribuer des séries de masses étalons dans le domaine de 100 μg à 100 mg n'est pas retenue, mais MM. *Grinberg*, *Rytz* (C) et *Weiss* feront une étude approfondie du problème des micro-pesées qui comprendra, si nécessaire, la comparaison de quelques masses sélectionnées. Ce problème ne comprend pas l'étude de la dilution et de l'échantillonnage qui a déjà fait l'objet de quatre articles (par MM. *Baerg*, *Mann*, *Rytz* et *Taylor*). Il est convenu que ces quatre articles seront adressés à Mr *Campion* qui essaiera de les condenser dans un seul document. Les autres membres sont invités à lui transmettre leurs résultats et leurs idées sur ce sujet.

Le problème « Mesure du taux de désintégration dans le cas des nucléides à schéma de désintégration complexe » sera étudié par MM. *Baerg* et *Williams*, et le problème « Possibilité de comptage par scintillateurs liquides pour la métrologie des nucléides qui se désintègrent par émission de rayonnement de faible énergie » par MM. *Grinberg*, *Houtermans*, *Spernal* et *Williams* (C). MM. *Baerg* et *Spernal* étudieront la « Métrologie de nucléides à capture électronique pure », MM. *Houtermans* (C), *Mann*, *Rytz*, *Taylor* et *Weiss* les « Techniques de référence pour le contrôle des radionucléides », tandis que Mr *Campion* examinera les « Impulsions secondaires ». Étant donné que personne ne se propose pour l'étude du problème « Étalonnage des détecteurs au Ge(Li) et au Na(I) », cette question sera reprise lors de la prochaine réunion de la Section, car la plupart des membres considèrent qu'il s'agit là d'un problème important.

Comme ce programme épuise pratiquement les possibilités de la Section, seuls quelques autres problèmes importants sont discutés ensuite. Ainsi que le souligne Mr *Williams*, la mesure du coefficient total de conversion interne du ^{203}Hg constitue depuis longtemps un problème difficile. Contrairement au N.R.C., le B.C.M.N. a rencontré les mêmes difficultés

que le N.P.L. Un groupe est donc créé pour étudier cette question, avec la participation de MM. Baerg, Grinberg, Mann, Spernol (C), Taylor, Weiss et Williams.

En ce qui concerne la diffusion des informations, en relation avec le point D, Mr Rytz rappelle la lettre circulaire du 30 janvier 1969, et invite ceux qui n'ont pas encore envoyé leur contribution à le faire dès que possible. De son côté, Mr Spernol accepte de préparer avec ses collaborateurs un état des données relatives à la capture d'électrons.

Bien que les différents groupes soient libres de travailler selon leurs propres méthodes, quelques règles générales sont adoptées. D'abord des coordinateurs sont désignés dans les groupes les plus importants pour ébaucher les projets et coordonner le travail (ils sont identifiés par (C) dans le texte ci-dessus). Ensuite, les groupes de travail devront envoyer tous les six mois de courts rapports d'activité à Mr Campion qui les adressera à tous les membres de la Section. Un rapport final, ou tout au moins provisoire, devra être préparé par chaque équipe pour la prochaine réunion de la Section; ce rapport sera expédié aux membres deux mois auparavant par l'intermédiaire de Mr Campion. Il est enfin convenu que toute la correspondance concernant le travail de la Section sera expédiée par l'intermédiaire du Bureau International ou qu'une copie lui sera adressée.

Exposés scientifiques

Le mardi 20 octobre 1970 a eu lieu une réunion scientifique, au cours de laquelle des exposés ont été faits sur des sujets susceptibles d'intéresser les membres de la Section :

- a) *Mesure de coefficients de conversion interne*, par J. G. V. Taylor,
- b) *Mesure de temps morts*, par J. W. Müller,
- c) *Données relatives à la capture électronique*, par A. Spernol,
- d) *Validité des pesées et estimation de leur exactitude*, par Y. Le Gallic (C.E.N., Saclay).

Les discussions qui suivirent ont donné lieu à un échange d'informations récentes.

Visite des laboratoires du Bureau International

Le mercredi matin, 21 octobre 1970, fut organisée une visite des laboratoires de la Section des rayonnements ionisants du B.I.P.M. Les progrès accomplis, spécialement dans le domaine de la spectrométrie α et des comptages par coïncidences, ont été hautement appréciés.

Activités du Bureau International

A la suite d'une question de Mr Allisy relative à l'opinion de la Section II sur les activités du B.I.P.M., le problème des grandes comparaisons internationales est à nouveau discuté. Il est décidé de ne pas organiser de telles comparaisons avant que les résultats des études qui sont entreprises par les groupes de travail soient connus, pour différentes raisons : ressources limitées du Bureau International; orientation principale de son travail vers l'amélioration de l'exactitude au niveau le plus élevé, ainsi que le souligne Mr Terrien; problèmes de personnel dans beaucoup de laboratoires nationaux. Les rapports des divers groupes de travail devront être prêts à être discutés lors de la prochaine réunion de la Section II.

Par ailleurs, le Bureau International et la Section II ont élaboré deux projets dans le but de venir en aide aux pays en voie de développement :

1. Tous les membres de la Section sont invités à adresser à Mr Rytz les listes des radionucléides qu'ils préparent, ainsi que les informations sur leur disponibilité. Ces étalons pourraient être mis gracieusement à la disposition des laboratoires qui en exprimeraient le désir, à condition que la distribution soit combinée avec une comparaison entre les deux laboratoires concernés. Seul le laboratoire distributeur aurait la responsabilité d'une telle comparaison, mais les résultats devront être transmis au Bureau International des Poids et Mesures et à la Section II.

2. Mr Rytz se charge des tâches suivantes :

a) demander à tous les laboratoires nationaux des pays membres de la Convention du Mètre s'ils désirent une distribution de sources solides étalonnées (^{60}Co , ^{54}Mn , ^{241}Am , etc.), ou une distribution de solutions étalonnées, en précisant les radionucléides désirés;

b) offrir, dans la mesure du possible, de recevoir en stage des physiciens ou des techniciens pour quelques semaines ou quelques mois au Bureau International ou dans d'autres laboratoires représentés dans la Section;

c) faire savoir que les services mentionnés ci-dessus peuvent être rendus par l'intermédiaire du B.I.P.M.

Mr *Mann* pense qu'une telle enquête peut être l'occasion de faire le point des désirs de tous les laboratoires intéressés. Mr *Campion* suggère que le projet de circulaire de Mr Rytz soit d'abord soumis aux membres de la Section.

Une discussion s'engage au sujet des chevauchements possibles des activités du Bureau International des Poids et Mesures et de l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique. Mr *Houtermans* signale que l'A.I.E.A. envisage d'arrêter la distribution des étalons puisqu'ils sont

commerciallement disponibles. Mr Allisy explique qu'il existe une différence très nette entre les activités de l'A.I.E.A. et celles du B.I.P.M., étant donné que celui-ci travaille uniquement avec les laboratoires nationaux des pays signataires de la Convention du Mètre. Mr *Houtermans* organisera de grandes comparaisons, qui s'adresseront également à des laboratoires autres que les laboratoires nationaux, si elles présentent quelque utilité et si le besoin s'en fait sentir. La plupart des membres de la Section sont favorables à cette suggestion, bien que certains pensent que le niveau des installations de certains laboratoires peut être une source de difficultés.

En ce qui concerne le travail expérimental effectué par le groupe des radionucléides du B.I.P.M., la Section estime qu'étant donné le personnel réduit du groupe celui-ci a très bien su se limiter à quelques activités importantes. Les travaux entrepris sont exécutés avec succès et doivent être poursuivis.

Enfin, MM. *Houtermans* et *Taylor* demandent au Bureau International de terminer la seconde partie du rapport de la comparaison de ^{60}Co effectuée en 1967. MM. Müller et Rytz signalent que l'analyse progresse et ils pensent que le rapport sera achevé prochainement.

Questions diverses

Organisation de la prochaine réunion. — Mr *Campion* expose ses idées au sujet de la prochaine réunion. Certaines de ces idées (par exemple organisation du travail à des niveaux divers et exposés suivis de discussions) ont déjà été expérimentées avec succès au cours de la présente réunion. Il propose de continuer dans cette voie et de scinder la prochaine réunion en deux parties. La première partie, d'environ deux ou trois jours, pourrait se dérouler dans un château de la région parisienne et comprendrait, outre les membres de la Section II, des experts d'autres laboratoires (au total 20 ou 25 participants); elle consisterait en discussions sur des sujets présentant un intérêt particulier (dans le style de la « Gordon Conference »). La seconde partie serait la réunion habituelle de un ou deux jours à Sèvres. Cette proposition rencontre l'assentiment général. Mr *Terrien* mentionne que le Centre National de la Recherche Scientifique pourrait peut-être contribuer à l'organisation matérielle de la première partie. MM. Allisy et *Campion* sont chargés d'étudier la question.

Quelques membres de la Section demandent que la date de la prochaine réunion soit choisie en fonction d'autres réunions susceptibles d'intéresser les participants, par exemple le Cours d'été de métrologie des radionucléides, prévu pour l'automne 1972 en Yougoslavie. Mr *Houtermans* préférerait une date plus rapprochée, car il est possible que l'A.I.E.A. organise le prochain symposium sur la métrologie des radionucléides

en 1973. Mr *Terrien* fait remarquer que les dates ne doivent pas coïncider avec celles de la session du Comité International des Poids et Mesures. Pour des raisons financières, MM. *Spernal* et *Taylor* demandent que les intéressés soient informés le plus rapidement possible des dates et du coût de la participation à une telle réunion. Mr *Campion* étudiera la question, choisira une date susceptible de convenir à la majorité et informera les participants dès que possible.

*

* *

Avant de clore la réunion, Mr *Campion* remercie le Bureau International des Poids et Mesures pour son hospitalité, les membres de la Section pour leur collaboration, et leur rappelle qu'en raison des obligations qu'il assume par ailleurs il n'a accepté la présidence de la Section II qu'à titre provisoire.

(Janvier 1971)

NEUVIÈME RAPPORT

DU

COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE

AU

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Par M. DURIEUX, Rapporteur

Le Comité Consultatif de Thermométrie (C.C.T.) s'est réuni pour sa 9^e session au Bureau International des Poids et Mesures, à Sèvres, où il a tenu quatre séances les 6 et 7 juillet 1971. Une visite des laboratoires du Bureau International a eu lieu le 8 juillet 1971 au matin.

Étaient présents :

H. PRESTON-THOMAS, membre du C.I.P.M., président du C.C.T.

Les délégués des laboratoires membres :

Conseil National de Recherches [N.R.C.], Ottawa (R. E. BEDFORD).
Conservatoire National des Arts et Métiers [C.N.A.M.], Paris
(A. MOSER).

Institut des Mesures Physicotechniques et Radiotechniques
[I.M.P.R.], Moscou (M^{me} M. ORLOVA).

Istituto di Metrologia G. Colonnetti [I.M.G.C.], Turin (L. CROVINI).

Kamerlingh Onnes Laboratorium [K.O.L.], Leiden (M. DURIEUX).

National Bureau of Standards [N.B.S.], Washington (R. P. HUDSON).

National Physical Laboratory [N.P.L.], Teddington (P. DEAN,
T. J. QUINN).

National Standards Laboratory [N.S.L.], Chippendale (W. R. G.
KEMP).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [P.T.B.], Braunschweig
(W. THOMAS).

Les membres nominativement désignés :

F. G. BRICKWEDDE (Pennsylvania).

J. SKAKALA (Bratislava).

Le directeur du Bureau International (J. TERRIEN).

Assistaient aussi à la session : P. GIACOMO, sous-directeur du Bureau International, J. BONHOURS et G. GIRARD (Bureau International); M^{me} N. Oulanova, interprète.

Excusés : National Research Laboratory of Metrology [N.R.L.M.], Tokyo (S. TAKATA). M. COLOMINA (Madrid), membre nominativement désigné.

Absents : Deutsches Amt für Messwesen und Warenprüfung [D.A.M.W.], Berlin; Institut de Métrologie D. I. Mendéléev [I.M.M.], Leningrad. J. de BOER (Amsterdam), membre nominativement désigné.

Mr Durieux est nommé rapporteur.

En ouvrant la première séance, le *Président* évoque la mémoire de trois membres décédés depuis la précédente session : J. A. Hall (janvier 1968), M. Debure (mars 1969) et C. R. Barber (mars 1971); ils avaient participé depuis de nombreuses années aux travaux du C.C.T. et leur disparition est vivement ressentie.

Avant d'aborder la discussion du point 1 de l'ordre du jour, le *Président* attire l'attention du C.C.T. sur le point 7b et propose qu'un certain nombre de groupes de travail soient créés. Le *Président* espère ainsi éviter des discussions trop détaillées, l'étude des sujets spéciaux pouvant être confiée aux Groupes de travail.

1. Échelle Internationale Pratique de Température de 1968 (E.I.P.T.-68)

a) Situation de l'E.I.P.T.-68 dans les laboratoires nationaux

Le *Président* rappelle que cette réunion du C.C.T. avait été proposée par feu C. R. Barber pour faire le point sur la situation actuelle de l'E.I.P.T.-68 dans les différents laboratoires nationaux.

Les instituts suivants ont présenté des documents (*) sur ce sujet :

N.S.L.	Document 71-12	C.N.A.M.	Document 71-32
I.M.G.C.	71-13	N.R.L.M.	71-33
N.P.L.	71-19	K.O.L.	71-50
N.B.S.	71-21	I.M.P.R.	71-53
D.A.M.W.	71-27	N.R.C.	71-64

(*) Les Documents mentionnés dans ce rapport sont publiés ou résumés dans les Annexes T de *Comité Consultatif de Thermométrie*, 9^e session, 1971.

Bien qu'après l'introduction de l'E.I.P.T.-68 des progrès notables aient été faits dans la réalisation de l'Échelle, la plupart des laboratoires n'ont pas encore réalisé tous les points fixes au-dessous de 90 K; ces laboratoires remplacent alors l'E.I.P.T.-68 par des « échelles nationales de thermomètres à résistance de platine » associées à une table des différences admises entre ces échelles et l'E.I.P.T.-68.

Le *Président* note que dans les cas où l'E.I.P.T.-68 a été réalisée dans les divers laboratoires, on ne connaît pas exactement la précision de ces réalisations; des comparaisons internationales de thermomètres étalonnés sont donc souhaitables.

b) Imperfections de l'E.I.P.T.-68

On discute de la définition du point d'ébullition du néon dans l'E.I.P.T.-68. Cette définition est incomplète, car elle ne spécifie pas si la composition isotopique naturelle du néon s'applique à la phase liquide ou gazeuse (*voir* les Documents 71-23, 28 et 59).

Mr *Hudson* demande si l'on peut définir l'E.I.P.T. au-dessous de 90 K d'une façon plus simple ou plus élégante. Mr *Dean* trouve aussi que la formulation de l'E.I.P.T.-68 au-dessous de 90 K est difficile à comprendre pour les nouveaux venus dans ce domaine. Le *Président* répond que la nature de la relation résistance-température du platine nécessite peut-être bien un processus d'étalonnage assez complexe, mais indique qu'au-dessus de 0 °C une partie de la complexité de l'E.I.P.T.-68 pourrait être due aux écarts de l'E.I.P.T.-68 par rapport à la température thermodynamique.

Mr *Brickwedde* mentionne le Document 71-2 dans lequel on propose de remplacer $T_{68} = 273,15$ K ($t_{68} = 0$ °C) par la température du point triple de l'eau chaque fois qu'il apparaît dans la définition de l'E.I.P.T.-68 (par exemple dans l'expression $W = R/R(273,15$ K)). Tout le monde s'accorde à penser que c'est plus direct, mais qu'un tel changement doit être reporté à une prochaine révision générale de l'E.I.P.T.-68.

Bien que cela ne concerne pas la définition de l'E.I.P.T.-68 elle-même, Mr *Kemp* mentionne ici qu'il aimerait voir figurer dans la liste des points fixes secondaires les incertitudes admises pour leurs températures. Cette question est soumise au Groupe de travail 2 (*voir* 7b).

c) Corrections à apporter au texte de l'E.I.P.T.-68

On a proposé un certain nombre de corrections rédactionnelles au texte de l'E.I.P.T.-68 (*voir* aussi le Document 71-3). La question est soumise au Groupe de travail 1 (*voir* 7b).

d) Améliorations des techniques se rapportant aux « Renseignements complémentaires » donnés dans l'E.I.P.T.-68

Les divers documents traitant de la réalisation des points fixes sont évoqués :

Documents

Point triple de l'oxygène	71-4, 71-37, 71-60
Eutectiques binaires métalliques	71-7
Points de transition de l'oxygène solide	71-8
Points de congélation de l'aluminium et de l'antimoine	71-11, 71-30
Point de congélation du platine	71-20
Point d'ébullition du néon	71-23, 71-46, 71-59
Point triple de l'argon	71-24
Point de congélation de l'or	71-31
Point triple de l'hydrogène	71-34, 71-46, 71-56
Point d'ébullition de l'hydrogène	71-46
Point triple du néon	71-59
Point d'ébullition de l'oxygène	71-60

Mr *Bedford* souligne qu'au cours de l'une de ces recherches (Document 71-37) on a trouvé que l'oxygène de différentes provenances donnait des différences significatives pour la température du point triple. Mr *Crovini* et Mr *Bedford* attirent l'attention sur des expériences concernant le point de congélation de l'antimoine (Documents 71-11 et 30); d'après ces expériences, il apparaît que lors de travaux antérieurs l'oxygène dissous dans l'antimoine a conduit à une valeur trop basse pour ce point fixe secondaire dans l'E.I.P.T.-68.

Mr *Crovini* souligne la difficulté de déterminer la longueur d'onde effective des pyromètres optiques au-dessus du point de l'or (Documents 71-14, 29 et 38). Le *Président* pense que ce sujet est trop complexe pour être évoqué dans l'E.I.P.T.

Mr *Bedford* attire l'attention sur les expériences faites au N.R.C. sur le recuit et l'étalonnage des thermocouples Pt-Rh/Pt, qui montrent que des erreurs inattendues peuvent survenir (Document 71-65).

2. Nouvelles déterminations de températures thermodynamiques

En relation avec le résultat de Guildner (N.B.S.) qui a trouvé que la température thermodynamique du point d'ébullition de l'eau était nettement plus basse que la valeur indiquée dans l'E.I.P.T.-68 (Document 71-39), Mr *Thomas* rappelle que des mesures au thermomètre à gaz effectuées à la P.T.B. en 1956 avaient donné un résultat analogue (Document 71-63).

Plusieurs membres décrivent les mesures des températures thermodynamiques dans leur institut. Mr *Kemp* parle des mesures effectuées au N.S.L. avec le thermomètre à gaz entre 2 K et 16 K qui ont abouti à l'échelle de température du N.S.L. dans ce domaine (Document 71-10). Mr *Dean* attire l'attention sur les résultats obtenus au N.P.L. avec un thermomètre acoustique à basse fréquence aux points d'ébullition de

l'hélium et de l'hydrogène (Document 71-18). Mr *Crovini* dit qu'il espère avoir dans les quelques prochaines années les résultats des mesures effectuées avec un thermomètre à bruit d'agitation thermique entre le point de l'antimoine et le point de l'or. Mr *Terrien* mentionne les mesures faites au B.I.P.M. à la température du point de l'or avec un pyromètre optique travaillant à une longueur d'onde de $1 \mu\text{m}$ (Document 71-31). Pour les autres recherches de ce genre voir les Documents 71-16, 31, 36 et 47, ainsi que 40, 45 et 51.

En relation avec cette liste de nouvelles déterminations des températures thermodynamiques, M^{me} *Orlova* demande comment furent choisies les valeurs des températures pour les points fixes dans l'E.I.P.T.-68, en particulier au-dessous de 0 °C. Cela est en partie expliqué au cours d'une discussion ultérieure. M^{me} *Orlova* regrette que ces renseignements ne soient pas disponibles.

3. Progrès dans les techniques de mesure de la température

a) Thermomètres à résistance aux températures élevées

Le *Président* rappelle que lors des précédentes réunions du C.C.T. on avait discuté de la possibilité de remplacer le thermocouple Pt-Rh/Pt par le thermomètre à résistance de platine aux températures élevées.

Mr *Hudson*, se référant aux Documents 71-25 et 43, indique qu'on a découvert que la cristallisation du platine a lieu même à des températures relativement basses (400 à 500 °C) si l'on maintient le thermomètre à résistance de platine à ces températures pendant un temps prolongé; cette cristallisation augmente considérablement les risques de modification de l'étalonnage du thermomètre.

Mr *Quinn* attire l'attention sur le Document 71-17, dans lequel on montre que les thermomètres à résistance de platine pour les températures élevées ont, jusqu'au point de l'or, une reproductibilité de $\pm 0,01 \text{ K}$; cette reproductibilité est environ dix fois meilleure que celle du thermocouple Pt-Rh/Pt. Il lui semble qu'il y aurait un avantage considérable à remplacer le thermocouple par le thermomètre à résistance de platine.

Mr *Bedford* souligne que les travaux sur les thermomètres à résistance de platine aux températures élevées sont poursuivis au N.R.C. (Document 71-66) et Mr *Brickwedde* attire l'attention sur le Document 71-35 du N.R.L.M. qui décrit l'utilisation d'un thermomètre à résistance de platine de 25Ω jusqu'au point de l'or.

Le *Président* reconnaît que l'utilisation du thermocouple n'est pas satisfaisante, mais il souligne le coût élevé des thermomètres à résistance de platine pour les températures élevées et leur durée de vie relativement courte comparée à celle des thermocouples qui sont en outre peu onéreux.

Il mentionne également la possibilité d'étendre vers le bas la pyrométrie optique, peut-être jusqu'à 660 °C (*voir* également 5 b).

b) *Nouvelles tables pour les thermocouples Pt-Rh/Pt*

Mr *Bedford* signale de nouvelles tables pour la relation force électromotrice-température des thermocouples Pt-Rh/Pt (Document 71-67); pour les thermocouples courants, ces tables sont considérées comme bien plus représentatives que les anciennes tables du N.B.S. (1930) ou du N.P.L. (1952).

Mr *Quinn* remarque que lorsqu'on utilise ces nouvelles tables il existe une discontinuité dans la pente de l'E.I.P.T.-68 au point de l'or et à $t_{68} = 630,74$ °C. On peut supprimer ces discontinuités en augmentant de 0,25 K la température du point de l'argent dans l'E.I.P.T.-68.

Le *Président* rappelle que lors de l'établissement de l'E.I.P.T.-68, on a choisi pour les points fixes les « meilleures valeurs » d'après les déterminations au thermomètre à gaz et que l'on n'a pas tenu compte des discontinuités mentionnées plus haut.

c) *Rapport sur la comparaison internationale de thermomètres à résistance de germanium*

Mr *Kemp* parle de son rapport (Document 71-10) sur la comparaison des échelles du N.B.S. (thermomètre acoustique), de l'I.M.P.R. (thermomètre à gaz), de l'I.S.U. (Iowa State University, thermomètre magnétique), du N.S.L. (thermomètre à gaz) et du K.O.L. (thermomètre magnétique) dans le domaine 2 K - 20 K au moyen d'un échange de thermomètres à résistance de germanium étalonnés (*voir* aussi les Documents 71-52 et 54). (Les résultats pour l'échelle du K.O.L. n'ont pu être inclus dans le rapport par manque de temps, *voir* le Document 71-45). Toutes les échelles, si l'on se rapporte à certaines températures de référence, concordent à 13 mK près et probablement mieux si l'on élimine certaines discordances apparentes; les échelles magnétiques de l'I.S.U. et du K.O.L. concordent probablement à 2 mK près si on les ramène aux mêmes températures de référence. Il sera particulièrement intéressant de comparer les résultats avec ceux du thermomètre magnétique de l'I.M.P.R. (Document 71-51).

Mr *Kemp* et M^{me} *Orlova* soulignent que de nouvelles comparaisons des échelles aux basses températures au moyen de thermomètres à résistance de germanium étalonnés sont souhaitables. Après discussion, notamment sur une proposition de Mr *Plumb* (N.B.S.) portée à l'attention du C.C.T. par Mr *Hudson*, il est convenu que MM. *Hudson* et *Kemp* prépareront un projet qui sera soumis au C.C.T. (*voir* 8 a).

d) *Comparaison internationale des échelles du pyromètre optique*

Mr *Quinn* parle du rapport sur la comparaison internationale des échelles du pyromètre optique (Document 71-22). Les laboratoires

participants étaient le N.B.S., le N.P.L., le N.S.L. et la P.T.B. Les comparaisons ont été faites entre 1 064 °C et 1 700 °C avec des lampes à vide à ruban de tungstène spécialement conçues pour cet usage. Mr *Quinn* souligne la conclusion, assez surprenante pour des comparaisons d'échelles, que les étalonnages des lampes à ruban de tungstène de ces quatre laboratoires concordent dans la limite des incertitudes d'étalonnage.

e) *Erreurs dans les échelles des thermomètres à tension de vapeur de l'hélium*

Le C.C.T. prend note du fait qu'après les premières déterminations effectuées au N.B.S. avec le thermomètre acoustique, les résultats de plusieurs déterminations ont été publiés; d'après ces résultats, l'« Échelle ^4He 1958 » est trop basse d'une quantité comprise entre 7 mK et 12 mK à 4,2 K. Au-dessous de cette température l'écart entre la température thermodynamique et T_{58} est approximativement proportionnel à T . Le C.C.T. hésite à apporter des corrections précises à l'Échelle ^4He 1958 car plusieurs expériences sont en cours actuellement.

Comme la liaison entre l'Échelle ^4He 1958 et l'Échelle ^3He 1962 a été confirmée (Document 71-41), tout changement apporté à T_{58} affectera T_{62} de la même manière.

f) *Questions diverses*

Mr *Dean* fait état de recherches effectuées au N.P.L. sur des thermocouples rhodium-fer (voir le Document 71-48 dans lequel sont exposés la construction, la reproductibilité et l'étalonnage de ces thermomètres).

Plusieurs autres documents sont évoqués: recherches sur les matériaux des thermocouples aux basses températures (Document 71-55); mesures sur des thermomètres à résistance de platine au-dessous de 13,81 K (Document 71-62); étalonnage des thermomètres à résistance de germanium (Document 71-61).

Le C.C.T. discute ensuite de la reproductibilité courante et souhaitable des thermomètres à résistance aux basses températures.

4. Questions particulières soulevées par les communications présentées au « 5th Symposium on Temperature Measurement »

Au cours de l'examen des différents points de l'ordre du jour, on a évoqué les discussions qui ont eu lieu sur les mêmes sujets à ce Symposium (Washington, juin 1971). Il convient de mentionner ici l'intérêt porté par le C.C.T. à la détermination de la température du point de congélation du platine dans l'E.I.P.T.-68; Mr *Dean* signale les nouvelles mesures faites au N.P.L. (Document 71-20).

Le point de congélation du platine est important comme point fixe secondaire pour l'étalonnage des thermocouples (on l'emploie pour fixer

la limite supérieure des tables de référence du thermocouple Pt-Rh/Pt, voir 3 b). De plus, la connaissance de la température thermodynamique du point de congélation du platine est, comme le fait remarquer Mr Terrien, essentielle pour une éventuelle redéfinition de la candela à partir des autres unités SI.

Le *Président* résume l'opinion du C.C.T. : il est hautement souhaitable d'effectuer encore des travaux expérimentaux.

5. Modifications éventuelles à apporter à l'E.I.P.T.-68

Le *Président* souligne qu'il ne faudrait pas apporter de modifications à la définition de l'E.I.P.T.-68 avant 1980 environ; toutefois, il espère que des modifications du texte, qui ne changeraient pas la définition de l'Échelle, pourront être proposées dans les quelques années qui viennent (par exemple à la prochaine session du C.C.T.).

a) *Extension vers le bas*

La discussion porte sur les méthodes appropriées pour faire la jonction entre l'E.I.P.T.-68 et l'Échelle ^4He 1958 (grosso modo de 4 K à 14 K).

Mr *Dean* attire l'attention sur le Document 71-15 de C. R. Barber, dans lequel on propose d'établir une échelle entre 4 K et 20 K à l'aide d'un thermomètre à gaz utilisé comme instrument d'interpolation. On a estimé que la reproductibilité d'une telle échelle serait meilleure que 1 mK.

Mr *Brickwedde* donne quelques informations sur les thermomètres acoustique et magnétique. Mr *Quinn* indique que la reproductibilité du thermomètre acoustique est à l'heure actuelle de quelques 10^{-4} (Document 71-18).

Mr *Hudson* recommande que l'on utilise la même valeur de la constante des gaz R dans toutes les mesures au thermomètre acoustique, et Mr *Terrien* indique comme meilleure valeur $R = 8,314\ 34\ \text{J/mol K}$ (valeur donnée par B. N. Taylor, W. H. Parker et D. N. Langenberg, *Rev. Mod. Phys.*, **41**, 1969, p. 375).

On a le sentiment que le thermomètre acoustique est un instrument trop complexe pour être utilisé comme base d'une échelle pratique.

Le thermomètre magnétique (Documents 71-40, 45 et 51) utilisé comme instrument d'interpolation entre 4 K et 14 K, a une reproductibilité de $\pm 1\ \text{mK}$ ou mieux. Il pourrait être utilisé comme base d'une échelle pratique, bien que ce ne soit pas non plus un instrument simple.

On pourrait utiliser les thermomètres à résistance de germanium pour la définition d'une échelle pratique de deux façons: 1) l'échelle pourrait être définie par un groupe de thermomètres à germanium éta-

lonnés par comparaison à un thermomètre primaire; 2) on pourrait préconiser pour les thermomètres à germanium une méthode d'étalonnage à un certain nombre de points fixes. Dans ce dernier cas, il serait souhaitable d'avoir un certain nombre de points fixes reproductibles entre 4 K et 14 K (*voir* également les Documents 71-44 et 61). Toutefois, certains thermomètres se sont révélés instables (des changements de l'ordre de 5 mK à 20 K sont survenus dans l'étalonnage).

b) *Changements dans le domaine compris entre $T_{68} = 13,81$ K et $t_{68} = 1\,064,43$ °C*

Le *Président* demande s'il serait avantageux d'étendre le domaine du thermomètre à résistance de platine vers le haut jusqu'au point de congélation de l'aluminium (660 °C), et celui du pyromètre vers le bas, si possible jusqu'à 660 °C.

Il s'ensuit une discussion : doit-on préférer le point de congélation de l'aluminium au point de congélation de l'antimoine comme point fixe (secondaire) dans le haut du domaine du thermomètre à résistance de platine? (Document 71-11).

En ce qui concerne l'extension du domaine du pyromètre aux températures inférieures à 1 064 °C, Mr *Quinn* remarque que le thermomètre à résistance de platine sera supérieur dans la majeure partie de ce domaine, mais qu'une extension jusqu'au point de congélation de l'argent (962 °C) semble bien possible; il faudrait d'abord étudier le rapport $T(\text{Ag})/T(\text{Au})$. Consulté, Mr *Thomas* répond que la température thermodynamique du point de congélation de l'argent est probablement mieux connue que celle du point de congélation de l'or.

La discussion se poursuit sur l'importance des mesures de température thermodynamique, par différentes méthodes, entre 400 °C et 1 064 °C.

Mr *Hudson* propose d'envisager le remplacement du point d'ébullition de l'oxygène par le point triple de l'argon (84 K) comme point fixe de définition de l'E.I.P.T., ou d'utiliser, au choix, soit le point triple de l'argon, soit le point d'ébullition de l'oxygène (Document 71-24).

c) *Modifications résultant de 1 d*

Au sujet du Document 71-23, Mr *Hudson* fait remarquer qu'il serait bien préférable de définir le point d'ébullition du néon avec l'isotope pur ^{20}Ne plutôt qu'avec le néon naturel (*voir* également 1 b).

Mr *Bedford* est d'avis que les « Renseignements complémentaires » concernant le recuit et l'étalonnage des thermocouples devraient être améliorés puisque de récents travaux effectués au N.R.C. (Document 71-65) ont montré que des erreurs importantes peuvent survenir (*voir* 1 d). Après plus ample discussion il s'est avéré que la plupart des « Renseignements complémentaires » devraient être revus de façon critique.

6. Établissement et mise à jour permanente des documents pour la révision de l'E.I.P.T.-68

Le *Président* remarque qu'il serait profitable de disposer de tous les renseignements nécessaires à l'amélioration et à l'extension de l'E.I.P.T.-68. Le C.C.T. discute et s'accorde sur l'opportunité de former de petits Groupes de travail pour rassembler ces renseignements et en tirer les conclusions de façon permanente.

7. Groupes de travail

a) *Dissolution des anciens Groupes de travail*

Le *Président* propose que les Groupes de travail I et II, créés par le C.C.T. lors de sa 6^e session (1962), soient officiellement dissous. Le C.C.T. approuve cette proposition.

b) *Constitution des nouveaux Groupes de travail*

Revenant sur les remarques précédentes, le *Président* propose que soient créés un certain nombre de petits Groupes de travail nouveaux. Le C.C.T. accepte cette proposition et s'accorde pour que ces Groupes de travail comprennent trois ou au plus quatre membres, y compris le président, choisis au sein du C.C.T. (laboratoires et experts nominativement désignés). Chaque Groupe de travail rassemblera et évaluera les renseignements qui le concernent à partir des publications, des connaissances de chacun et des visites aux laboratoires intéressés.

Sur proposition du *Président* on s'accorde, après une discussion à laquelle prennent part plusieurs membres, sur la déclaration suivante :

Le Comité Consultatif de Thermométrie,

considérant que beaucoup de travaux seront nécessaires pour acquérir des données expérimentales et théoriques permettant l'amélioration future de l'Échelle Internationale Pratique de Température de 1968,

que ces travaux peuvent être rendus notablement plus efficaces s'ils sont coordonnés par de petits groupes d'experts chargés de suivre les travaux en cours, d'apprécier leurs résultats, et de faire un choix des sujets d'étude les plus profitables,

décide de confier cette coordination à quatre Groupes de travail ayant chacun un sujet d'étude :

Groupe de travail 1. Préparation de la révision de la forme de l'E.I.P.T.-68.

Groupe de travail 2. Révision des points fixes secondaires et recherche de techniques pratiques simplifiées de mesure de température.

Groupe de travail 3. Détermination des températures thermodynamiques dans le domaine $T > 100$ K.

Groupe de travail 4. Détermination des températures thermodynamiques dans le domaine $T < 100$ K.

Avant de passer à la constitution de ces Groupes de travail, il est convenu de proposer au C.I.P.M. que le Professeur C. A. Swenson (Iowa State University) soit nommé membre du C.C.T. Le Prof. Swenson a apporté une contribution importante à la thermométrie des basses températures; il est donc hautement souhaitable qu'il prenne part aux activités du C.C.T.

Le Président ouvre ensuite la discussion sur la composition des Groupes de travail. Cette discussion conduit à la nomination des personnes et laboratoires suivants :

<i>Groupe de travail</i>	{	1 : H. Preston-Thomas (président), N.P.L., N.B.S. I.M.M.
		2 : I.M.G.C. (président), C.N.A.M., N.R.C.
		3 : N.P.L. (président), P.T.B., N.B.S.
		4 : K.O.L. (président), C.A. Swenson, N.S.L., I.M.P.R.

Conformément à ce qui a été décidé précédemment, les Groupes de travail 2 et 3 peuvent nommer un quatrième membre.

On demandera aux Directeurs des laboratoires proposés pour faire partie des Groupes de travail de donner leur accord et, dans l'affirmative, de désigner leur représentant.

Il est convenu que les Groupes de travail présenteront des rapports annuels aux membres du C.C.T.; ces rapports devront leur être envoyés par l'intermédiaire du B.I.P.M. Le premier rapport est prévu pour janvier 1973, le second pour janvier 1974, au moins trois mois avant la prochaine session du C.C.T. (*voir* 11).

La continuité dans les activités des Groupes de travail est souhaitable; en conséquence ils ne devraient pas se dissocier arbitrairement. Le B.I.P.M. doit être tenu informé de tout changement dans la composition des Groupes.

8. Questions diverses

a) *Nouvelles comparaisons internationales de thermomètres à résistance de germanium au-dessous de 35 K*

MM. Hudson et Kemp présentent leur rapport sur la préparation de nouvelles comparaisons internationales de thermomètres à germanium au-dessous de 35 K (*voir* 3 c). Ils proposent que chacun des laboratoires suivants : K.O.L., N.S.L., N.B.S., I.M.P.R., N.R.C. et N.P.L., envoie au B.I.P.M. un certain nombre de thermomètres à germanium (trois) de qualité reconnue (reproductibilité) et qu'une partie de ces thermomètres circulent entre les différents laboratoires. Ces thermomètres devront être étalonnés dans l'échelle propre au laboratoire si une telle échelle existe. Le C.C.T. est d'accord avec le rapport de

MM. Hudson et Kemp et confie au Groupe de travail 4 le soin d'organiser cette comparaison.

b) *Étalonnages au niveau des étalons secondaires*

Le *Président*, Mr *Kemp* et d'autres membres participent à une discussion sur les étalonnages secondaires. Ces étalonnages sont généralement importants dans les cas où il faut trouver un compromis entre le coût et l'exactitude, en particulier pour les laboratoires des pays en voie de développement.

Le B.I.P.M. ainsi que plusieurs laboratoires nationaux qui sont en relation avec des laboratoires dans des pays moins développés doivent être en mesure de prodiguer des conseils éclairés. Le problème est confié au Groupe de travail 2. Il est important, comme le souligne le *Président*, que la relation entre le coût et l'exactitude des étalonnages soit comprise et établie.

c) *Température des plasmas*

Parlant du Document 71-58, Mr *Thomas* demande si le C.C.T. s'intéressera de façon active au domaine des températures des plasmas (au-dessus de 4 000 K environ). Mr *Dean* souligne l'intérêt croissant des secteurs industriels pour cette question et estime convenable que le C.C.T. manifeste un certain intérêt « à titre d'essai ». Mr *Moser* est d'avis que le C.C.T. doit porter un intérêt actif au domaine des températures des plasmas.

Le *Président* suggère que le Groupe de travail 3, dans son premier rapport, se préoccupe de ce domaine de température. (Voir également le point 9).

d) *Point de congélation de l'alumine*

A la suite d'une demande de l'U.I.C.P.A., le C.C.T. discute de l'utilisation éventuelle du point de congélation de Al_2O_3 comme point fixe. Ce point de congélation doit être étudié et l'on doit confirmer s'il convient bien comme point fixe secondaire. Sur proposition du *Président*, la question est soumise au Groupe de travail 2.

e) *Recherches recommandées*

Après une discussion générale on passe en revue les différents projets de recherche que l'on considère actuellement comme très importants pour le progrès de la thermométrie. Il est décidé de les présenter au C.I.P.M. sous forme d'une liste de recherches recommandées (voir la Recommandation T 1 (1971), p. 105).

En dehors des points portés dans cette liste, le C.C.T. exprime le souhait que soient poursuivies les comparaisons de thermomètres à résistance de platine entre 13,81 K et 273,15 K afin d'obtenir davantage

de renseignements sur les différences entre les températures obtenues avec les différents thermomètres (Documents 71-49 et 57).

f) *Documents pour les réunions ultérieures du C.C.T.*

Le *Président* propose que les documents futurs aient la forme de résumés. La lecture des documents longs prend beaucoup trop de temps et les tentatives faites pour diffuser les documents suffisamment longtemps avant les réunions ont toujours échoué. De plus, le B.I.P.M. ne peut publier la totalité des documents complets tandis qu'il peut facilement publier des résumés.

Mr *Terrien* est d'accord avec le *Président*, mais pense qu'il est d'un grand intérêt pour le B.I.P.M. d'avoir une documentation complète.

Il est convenu que, pour les réunions futures, les documents complets seront soumis au B.I.P.M., mais que les documents destinés à être diffusés en vue de la réunion elle-même et à être publiés par le B.I.P.M. devront revêtir la forme de résumés développés. Sur demande, les membres du C.C.T. pourront obtenir les documents complets auprès du B.I.P.M.

9. Rapport au Comité International

Ce rapport comprendra :

1. Un résumé des travaux de la session.
2. Des recommandations pour les travaux futurs (*voir 8 e*).
3. Un rapport du C.C.T. sur les Étalons Matériels de Référence.

La Commission préparatoire des Étalons Matériels de Référence a demandé au C.C.T. de présenter un rapport sur les étalons matériels de référence qui touchent à la thermométrie. Après une discussion sur cette question, au cours de laquelle Mr *Kemp* indique qu'il est important pour les pays les moins développés de pouvoir se procurer les matériaux nécessaires à la réalisation de l'E.I.P.T.-68, le C.C.T. accepte un projet de rapport sur la question (*voir l'Appendice p. 106*).

4. Une proposition pour la nomination du Prof. C. A. Swenson comme membre du C.C.T. (*voir 7 b*) ⁽¹⁾.

10. Publication des documents soumis au C.C.T.

Un certain nombre de documents présentés au C.C.T. devant être publiés dans les comptes rendus du « 5th Symposium on Temperature Measurement » ou ailleurs, le *Président* propose de publier seulement les résumés de ces documents dans les comptes rendus de cette 9^e session du C.C.T. Cette proposition est adoptée.

⁽¹⁾ *Note ajoutée aux épreuves.* Le Comité International a accepté, à sa 60^e session (septembre-octobre 1971), la proposition de nomination de C. A. Swenson comme membre du C.C.T. en qualité d'expert.

11. Prochaine réunion du C. C. T.

La prochaine session du C.C.T. aura lieu en 1974. Pour des raisons pratiques, Mr *Terrien* préfère que la session ait lieu au printemps. On convient de mai 1974 comme date provisoire.

*
*
*

L'ordre du jour étant épuisé, le *Président* remercie Mr *Terrien* et ses collaborateurs pour la part qu'ils ont prise à l'organisation des séances et pour leur aide au cours de la session.

Mr *Terrien* remercie le *Président* pour la part qui lui revient dans le succès de cette 9^e session du C.C.T.

(Août 1971)

Recommandation du Comité Consultatif de Thermométrie présentée au Comité International des Poids et Mesures

RECOMMANDATION T 1 (1971) ^(a)

Le Comité Consultatif de Thermométrie,

1. CONSIDÉRANT

que le couple thermoélectrique platine rhodié—platine utilisé comme instrument d'interpolation entre les points fixes de définition de l'Échelle Internationale Pratique de Température de 1968 a une précision limitée à environ 0,1 K et que cette précision ne semble pas pouvoir être améliorée notablement,

que les techniques de pyrométrie monochromatique se sont développées en particulier dans le proche infrarouge,

RECOMMANDE *que l'on étudie la possibilité d'étendre le domaine pyrométrique de l'Échelle Internationale Pratique de Température vers des températures plus basses, si possible jusqu'à la limite inférieure de $t = 660$ °C environ, par des mesures pyrométriques de température rapportées au point de congélation de l'or $t_{68}(\text{Au}) = 1\,064,43$ °C.*

2. CONSIDÉRANT

que l'amélioration de l'Échelle Internationale Pratique de Température de 1968 devra être appuyée sur des mesures de la température thermodynamique

^(a) Cette Recommandation a été approuvée par le Comité International des Poids et Mesures à sa 60^e session (septembre-octobre 1971).

des points fixes de définition qui soient plus exactes et dont l'incertitude soit mieux connue,

que l'utilisation des lois de la thermodynamique ne peut conduire à des résultats plus exacts que si les températures mesurées dans l'Échelle Internationale Pratique de Température sont en meilleur accord avec la température thermodynamique,

RECOMMANDE que l'on étudie activement les écarts qui subsistent entre l'Échelle Internationale Pratique de Température de 1968 et la température thermodynamique dans tout le domaine des températures inférieures à $t = 1\ 064\ ^\circ\text{C}$.

3. CONSIDÉRANT qu'une connaissance plus exacte, avec son incertitude, de la température du point de congélation du platine est d'un grand intérêt en photométrie et en radiométrie, et que l'on ne dispose que de déterminations très anciennes et d'une seule détermination récente,

RECOMMANDE que l'on effectue d'autres déterminations de la température du point de congélation du platine dans l'Échelle Internationale Pratique de Température de 1968.

4. CONSIDÉRANT que la recherche scientifique et la technique industrielle ont de plus en plus besoin des paramètres caractéristiques des plasmas,

RECOMMANDE que les laboratoires nationaux étendent leurs recherches vers la détermination de températures supérieures à $T = 4\ 000\ \text{K}$.

Appendice

Rapport du Comité Consultatif de Thermométrie sur les Étalons Matériels de Référence utilisés en thermométrie de précision

Pour la réalisation de l'Échelle Internationale Pratique de Température de 1968, l'utilisation de plusieurs substances est soit indispensable, soit recommandée; ces substances ont la qualité d'Étalons Matériels de Référence. On peut aisément les classer comme suit :

1. Substances utilisées pour les points fixes de définition (or, argent, zinc, étain, eau, oxygène, néon et hydrogène).

2. Substances utilisées pour construire les éléments sensibles des instruments d'interpolation (platine et alliage de platine à 10 % de rhodium).

3. Substances utilisées pour les points fixes secondaires (parmi ceux qui ont été étudiés en détail on peut citer : cuivre, aluminium, antimoine, eutectique Cu-Al, mercure, plomb, cadmium, bismuth, indium, gaz carbonique et azote).

Le critère d'acceptabilité des matériaux ci-dessus est la reproductibilité de la température pour les points fixes et la reproductibilité des mesures de température pour les instruments d'interpolation. Bien que la pureté chimique des substances soit de première importance, d'autres caractères contribuent également à la reproductibilité.

Les méthodes d'évaluation de la qualité varient d'une substance à l'autre. Elles comprennent :

- les techniques usuelles d'analyse des impuretés,
- la mesure et l'évaluation du domaine de température des courbes de fusion,
- la mise au point de techniques de purification susceptibles d'amener des échan-

tillons volontairement contaminés (ou des échantillons de différentes provenances) à des états ayant un comportement thermique identique,
— quelques comparaisons entre laboratoires.

Aux températures inférieures à 500 °C, on peut mesurer des différences de température significatives de l'ordre du dix-millième de kelvin. Ceci correspond à des taux d'impureté de l'ordre de quelques 10^{-7} et implique également un assez bon contrôle de la composition isotopique pour plusieurs substances.

Dans l'ensemble de ce domaine les progrès sont sporadiques mais nets. Ils résultent d'études systématiques et minutieuses concernant un ou plusieurs points fixes dans un laboratoire, plutôt que de comparaisons internationales fréquentes. La provenance des matériaux, leur traitement et les techniques de mesure ainsi obtenus comme il est indiqué ci-dessus sont alors connus de tous les grands laboratoires d'étalonnage. Un échange libre mais coopératif d'informations entre ces laboratoires permet d'éviter la répétition inutile des travaux expérimentaux et de concentrer l'attention et les efforts sur les domaines qui en ont le plus grand besoin.

TROISIÈME RAPPORT

DU

COMITÉ CONSULTATIF DES UNITÉS

AU

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Par E. RUDBERG, Rapporteur

Le Comité Consultatif des Unités (C.C.U.) a tenu sa troisième session au Bureau International des Poids et Mesures, à Sèvres, au cours de quatre séances les lundi 23 et mardi 24 août 1971.

Étaient présents :

J. DE BOER, secrétaire du C.I.P.M., président du C.C.U.

Les délégués des organisations internationales et des laboratoires membres :

Commission Électrotechnique Internationale [C.E.I.] : Comités d'Études N° 24 et N° 25 (C. H. PAGE).

Commission Internationale de l'Éclairage [C.I.E.] (J. TERRIEN).

Conseil National de Recherches [N.R.C.], Ottawa (G. HERZBERG).

International Commission on Radiation Units and Measurements [I.C.R.U.] (A. ALLISY).

National Bureau of Standards [N.B.S.], Washington (C. H. PAGE).

National Physical Laboratory [N.P.L.], Teddington (P. VIGOUREUX).

National Research Laboratory of Metrology [N.R.L.M.], Tokyo (T. MASUI).

Organisation Internationale de Normalisation [I.S.O.] : Comité Technique 12 (H. H. JENSEN, M^{me} V. H. SIMONSGAARD).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [P.T.B.], Braunschweig (U. STILLE).

Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée [U.I.C.P.A.] : Commission S.T.U. (M. L. MCGLASHAN).

Union Internationale de Physique Pure et Appliquée [U.I.P.P.A.] :
Commission S.U.N. (E. RUDBERG).

Les membres nominativement désignés :

P. HONTI (Budapest).

L. VILLENA (Madrid).

Le directeur du Bureau International (J. TERRIEN).

Assistaient aussi à la session : P. GIACOMO, sous-directeur du Bureau International et H. MOREAU (Bureau International).

Excusés : Comité d'État des Normes du Conseil des Ministres de l'U.R.S.S., Moscou. J. STULLA-GÖTZ (Vienne), membre nominativement désigné.

Le *Président* ouvre la séance en souhaitant la bienvenue aux membres présents, en particulier au représentant du N.R.L.M. (Tokyo) qui assiste à la réunion du C.C.U. pour la première fois.

Mr Rudberg est désigné comme rapporteur, avec l'aide de Mr Moreau comme secrétaire.

Le projet d'ordre du jour de la réunion est adopté après quelques légères modifications.

**1. Brochure « Le Système International d'Unités (SI) » (B.I.P.M., 1970) :
modifications pour une nouvelle édition**

(voir aussi les points 3, 5, 9)

Le C.C.U. décide d'apporter à la brochure sur le SI ⁽¹⁾ les modifications suivantes :

— Ajouter sous le Tableau 1 (Unités SI de base), p. U 33, avec renvoi à la grandeur « température thermodynamique », la note suivante : « La température Celsius est généralement exprimée en degrés Celsius (symbole °C) ». (Cette note répète la phrase donnée p. U 32 à la fin du paragraphe e).

— Afin de formuler en termes plus explicites la mise en garde contre l'élargissement abusif de l'emploi des préfixes sanctionnés par la Conférence Générale, la phrase III-2-c, p. U 37, est modifiée comme suit : « Les préfixes composés, formés par la juxtaposition de plusieurs préfixes SI, ne sont pas admis, *par exemple* : ... ».

— Tableau 9, p. U 38 : Dans la note (a), 1^{re} ligne, ajouter « cinétique » après « 1 électronvolt est l'énergie » (proposition de Mr *Stille*).

Dans la note (c), Mr *Page* demande que l'on fasse ressortir clairement qu'aucun symbole international n'a été jusqu'ici adopté pour l'unité astronomique; on utilise en effet, dans la pratique, des abréviations telles

(1) Cette brochure est reproduite à l'Annexe U 2 dans *Comité Consultatif des Unités*, 3^e session, 1971, pp. U 23-U 60. Les paginations U indiquées dans les points 1 et 3 de ce rapport sont celles de cette Annexe U 2.

que UA, AU, etc. Le C.C.U. estime que l'on devrait demander à l'Union Astronomique Internationale de proposer pour cette unité un symbole qui rallie l'accord international.

En dehors de quelques améliorations rédactionnelles, d'autres modifications seront à apporter suivant les décisions que prendra la 14^e Conférence Générale des Poids et Mesures à sa session d'octobre 1971 en ce qui concerne la mole et les noms pascal et siemens. Il y aura lieu aussi de modifier la rédaction du paragraphe « 3. Temps » de l'Annexe II pour tenir compte des nouvelles dispositions qui doivent entrer en vigueur le 1^{er} janvier 1972 concernant le Temps Universel Coordonné TUC.

Mr *Villena* demande quelle est l'attitude qu'il convient d'adopter en ce qui concerne l'introduction éventuelle par différents pays ou groupes linguistiques, de noms particuliers à une langue pour les unités du SI.

L'opinion générale du C.C.U. est que l'on devrait recommander de s'écarter le moins possible des noms employés par la Conférence Générale des Poids et Mesures, bien que les règles linguistiques ou les usages puissent soulever des difficultés. Le C.C.U. émet dans ce sens la Recommandation U 1 (1971) (*voir* p. 116).

2. Préfixes pour les multiples 10^{15} et 10^{18}

Le C.C.U. examine la proposition présentée par le « Deutscher Normenausschuss (DNA) » concernant l'adoption de deux préfixes SI additionnels : *péta* (symbole P) pour 10^{15} et *exa* (symbole E) pour 10^{18} .

Bien que plusieurs organisations nationales et internationales se soient déjà déclarées en faveur d'une extension de la liste des préfixes SI, le C.C.U. note que si l'on acceptait le préfixe pour 10^{15} (maintenant approprié au domaine visible des fréquences du rayonnement électromagnétique) et le préfixe pour 10^{18} , on serait bientôt conduit à aller beaucoup plus loin dans l'adoption de nouveaux préfixes, tant pour les puissances positives que pour les puissances négatives de 10. Le C.C.U. estime donc plus raisonnable d'encourager purement et simplement l'emploi des puissances de 10 et il précise sa position dans la déclaration suivante :

« Le Comité Consultatif des Unités réaffirme les objections qu'il a exprimées à sa 1^{re} session (1967, p. U 18-19) concernant l'extension de la liste des préfixes SI. En particulier, ayant discuté la demande d'ajouter deux préfixes qui seraient *péta* (symbole P) et *exa* (symbole E) et qui serviraient à exprimer les multiples 10^{15} et 10^{18} , il reconnaît que ce choix serait assez convenable, mais il estime que le besoin de ces nouveaux préfixes n'a pas pour le moment un caractère d'urgence .»

3. Combinaisons d'unités SI et d'unités hors du SI; le kilowattheure

Le C.C.U. a été amené à préciser l'intention exacte et la signification des mots « ... pour l'usage général avec le Système International d'Unités ».

qui figurent dans le texte précédant le Tableau 8 de la brochure sur le SI (p. U 38, paragraphe IV.1).

Après discussion, le C.C.U. décide à la majorité de faire la déclaration suivante dont il sera tenu compte pour modifier le paragraphe IV.1 :

La brochure sur le SI éditée par le B.I.P.M. donne une liste (Tableau 8) de huit unités en dehors du SI retenues pour l'usage général avec le SI. Le Comité Consultatif des Unités déclare que l'emploi de ces unités en combinaison avec d'autres unités ne doit être autorisé que dans des cas limités. En particulier, le kilowattheure devrait être finalement abandonné.

4. Abréviations des unités dans les systèmes de traitement et d'échange d'information à nombre limité de caractères (télex, ordinateurs)

Comme suite aux informations présentées à la 2^e session (1969, p. U 15), le C.C.U. a examiné une liste révisée des abréviations proposées par l'I.S.O./TC 97 (Document « (Secr.-306) 442) pour les systèmes de traitement et d'échange d'information, tels que les télex et les ordinateurs; les risques de confusion qui subsistaient dans les versions précédentes ont été supprimés, ce qui rend cette liste acceptable, mais exclusivement dans le cas où l'usage des symboles internationaux est impossible. Toutefois, le C.C.U. a cru utile d'étudier l'éventualité de remplacer les symboles actuels °C et Ω par Cel et Ohm. Une lettre a été envoyée aux présidents des deux Comités Consultatifs intéressés (Thermométrie et Électricité) les priant d'étudier cette question.

5. Relations entre le watt et le voltampère (et le var), le joule et le mètre-newton, le hertz et l'inverse de la seconde

Après avoir pris connaissance des commentaires et opinions exposés dans les documents envoyés avant la session, le C.C.U. engage la discussion.

Il a été suggéré, en particulier par la Commission Électrotechnique Internationale, que le nom watt et son symbole W soient utilisés pour indiquer ce qui, en électrotechnique, est appelé puissance active, et que le nom voltampère et son symbole VA soient réservés pour la puissance apparente.

L'opinion du C.C.U. est qu'une telle pratique peut très bien être autorisée pour être adoptée dans des domaines spéciaux par des groupes qui trouvent qu'elle présente un avantage. Toutefois, il ne semble pas à propos d'émettre une recommandation de ce genre à présenter au C.I.P.M. ou à la C.G.P.M. En fait, la structure du Système International implique que le voltampère (VA) est une unité SI dérivée pour la puissance (de n'importe quelle nature), et que le watt (W) désigne exactement la même unité d'une façon tout à fait générale.

Le nom « var » n'a pas été discuté en détail, et Mr *Page* a suggéré que la Commission Électrotechnique Internationale donne une définition précise de la puissance apparente et de la puissance réactive.

Quelques membres ont exprimé l'opinion que, pour faire à l'intérieur du SI une distinction entre le nom et le symbole de l'unité du moment d'une force d'une part, et l'unité d'énergie d'autre part, il serait nécessaire d'introduire dans le système une unité de base additionnelle, le radian (rad).

Le C.C.U. pense que l'inverse de la seconde (ou la seconde à la puissance moins un) demeure l'unité SI convenable dans laquelle on peut exprimer, soit une constante de désintégration, soit la fréquence de tout phénomène périodique en fonction du temps. Il doit donc toujours rester permis d'utiliser indifféremment l'unité hertz, et son symbole Hz, ou l'inverse de la seconde, s^{-1} . D'un autre côté il peut être avantageux d'utiliser de préférence des noms particuliers d'unités pour exprimer des grandeurs particulières, par exemple le hertz dans le cas où il s'agit d'une fréquence. De même, l'unité composée newton-mètre (ou mètre-newton) est employée généralement pour exprimer le moment d'une force, de préférence au joule.

Finalement, le C.C.U. se met d'accord sur la prise de position suivante :

Chaque unité dérivée peut s'exprimer d'une seule façon par une combinaison des unités de base. Mais étant donné que certaines de ces combinaisons ont reçu un nom spécial, une même unité dérivée peut souvent être exprimée de plusieurs façons par combinaison de ces noms spéciaux et des unités de base. Bien que de telles combinaisons aient des significations identiques, le Comité Consultatif des Unités ne voit pas d'inconvénient au choix préférentiel d'une combinaison particulière dans des cas particuliers. Par exemple, il ne voit pas d'inconvénient à l'emploi préférentiel du hertz (égal à la seconde à la puissance moins un) pour exprimer la fréquence de phénomènes périodiques en fonction du temps.

Une note sera ajoutée dans ce sens à la fin du paragraphe II.2.1 de la brochure sur le SI.

6. Unités des grandeurs à caractère logarithmique (bel, néper, etc.)

Le C.C.U. est informé que l'Union Internationale des Télécommunications a décidé en 1968 d'abandonner sa proposition antérieure d'employer à la fois le néper et le bel, et de ne conserver que cette dernière unité. Cependant l'I.S.O./TC 12 déclare maintenant n'avoir trouvé aucune raison de changer le traitement antérieur de cette question dans son document R 31, ni de proposer aucune nouvelle unité supplémentaire.

Au cours de la longue discussion qui s'ensuit on fait remarquer que le SI, tel qu'il est adopté jusqu'ici, est construit comme un système impliquant le concept d'une structure linéaire dans la totalité des relations entre les grandeurs physiques. Mais il est possible, et quelquefois commode,

de donner une représentation des mêmes situations physiques (comme elles sont décrites par ces grandeurs physiques) en mesure relative, et de donner alors le logarithme de la mesure relative, au lieu d'employer, comme on le fait ordinairement, l'échelle linéaire.

On a reconnu qu'il pourrait être possible d'étendre le système actuel des dimensions de façon à attribuer des dimensions spéciales à de telles grandeurs logarithmiques (et aussi à d'autres fonctions de mesures relatives). La majorité des membres, cependant, était d'avis que cette extension n'est pas convenable. Donc, il n'est pas recommandé d'introduire le néper, le bel, ou le décibel comme des unités SI.

7. Question du Bureau Hydrographique International concernant le « sea-mile »

Par lettre du 10 mai 1971, le Bureau Hydrographique International, à Monte-Carlo, a sollicité l'opinion du C.C.U. en ce qui concerne l'extension à d'autres pays de l'emploi du « sea-mile » adopté au Royaume-Uni, et défini comme « la longueur (variable avec la latitude) d'une minute d'arc, mesurée le long du méridien dans la latitude de la position ».

Le C.C.U. considère que cette longueur n'a pas le caractère d'une unité et qu'on ne devrait pas utiliser le mot « mile » pour désigner une longueur variable.

8. Demande de reconnaissance du « tex » par la Conférence Générale

Par lettre du 30 avril 1971, le Bundesverband der Deutschen Industrie E.V. a demandé que le Bureau International propose à la 14^e Conférence Générale des Poids et Mesures (octobre 1971) de reconnaître le nom « tex » donné à une unité de masse linéique employée pour les fils et les fibres textiles et représentant 1 gramme par kilomètre.

Le C.C.U. n'estime pas nécessaire de présenter une telle demande à la Conférence Générale; en effet, le gramme par kilomètre est déjà reconnu comme un sous-multiple d'une unité SI, et le nom tex est reconnu par l'I.S.O. et figure dans quelques législations nationales sur les unités de mesure.

9. Concept de système d'unités et concept d'unité de base. Unité théorique (ou abstraite) et unité pratique (ou concrète) d'une grandeur

Le C.C.U. a discuté plusieurs documents présentés contenant des commentaires et des propositions sur la façon de considérer la structure d'un système d'unités, et en particulier sur la nature des unités de base et des unités dérivées. On a commenté les principes du calcul des grandeurs

et on a discuté la nature de la dépendance implicite entre les définitions de certaines unités de base et d'autres unités de base du même système.

Au cours de la discussion on a insisté sur le fait que le choix des unités de base d'un système (ainsi que leur nombre) est une affaire de convention. Elles sont introduites dans le calcul des grandeurs en tant que base d'une structure algébrique à partir de laquelle on peut obtenir les unités dérivées selon des règles bien définies.

Il est vrai que la valeur de certaines unités SI de base dépend implicitement d'autres unités de base. Normalement, la définition d'une unité de base décrit une situation physique qui représente la valeur spécifiée de la grandeur correspondante. Parmi les données nécessaires, une telle définition peut contenir une donnée exprimée dans une autre unité de base, ou dans une unité dérivée contenant une autre unité de base. Si la définition de cette autre unité de base est changée, quelle est la conséquence pour l'unité de base considérée ?

Le C.C.U. est d'accord pour reconnaître que les unités de base sont considérées comme indépendantes, par convention, mais que cette indépendance est purement *dimensionnelle*. A côté de cela, on peut se demander dans quelle mesure une unité de base choisie est *métrologiquement* indépendante des autres unités de base du même système d'unités (« métrologiquement » veut dire « lorsque cette unité est réalisée expérimentalement dans un laboratoire de métrologie »). En tout cas, l'indépendance dimensionnelle n'implique pas nécessairement l'indépendance métrologique.

Dans la suite de la discussion on a mentionné que, dans le cas où une valeur exacte pour une grandeur est obtenue comme résultat de mesures de grande précision, ce résultat dépend de la réalisation des unités qui interviennent dans ces mesures. Il est donc important que la description des expériences fasse connaître le mode de réalisation de ces unités dans le cas considéré. Le C.C.U. adopte dans ce sens la *Recommandation U 2* (1971) (voir p. 116).

10. Relation entre les unités et les constantes physiques (par exemple entre γ_p et A, entre h/e et V, etc.)

Plusieurs membres, en particulier MM. *Page*, *Stille* et *Vigoureux*, font un rapport oral de cette question. Ces exposés peuvent être résumés comme suit.

L'unité de base pour l'intensité de courant électrique, l'ampère, est réalisée à partir de sa définition à l'aide d'un appareil du genre dynamomètre. Au lieu de dériver de l'ampère et du watt les autres unités électriques selon leur définition, on a coutume de réaliser une autre unité électrique, habituellement l'ohm, au moyen d'une mesure électromagnétique indépendante en conformité avec la définition de l'ampère. L'instrument le plus exact pour ce but est maintenant le condensateur

calculable, au moyen duquel l'ohm, pense-t-on, peut être obtenu avec une incertitude de 10^{-8} seulement, mise à part l'incertitude due à notre connaissance imparfaite de la vitesse de la lumière. Toutes les autres unités électriques peuvent être obtenues à partir de ces deux-là par des mesures purement électriques.

Le dynamomètre qui réalise l'ampère pourrait également servir à contrôler la constance du quotient E/R entre la force électromotrice E des éléments Weston et la résistance R des résistances étalons, au moyen desquelles l'ampère est conservé de jour en jour au laboratoire; mais on préfère d'autres instruments, plus exacts, avec lesquels on peut effectuer ces contrôles. Il y a pour l'ampère (E/R) l'appareil pour le coefficient gyromagnétique du proton, et pour le volt (E) l'appareil basé sur l'effet Josephson. De plus, le condensateur calculable qui sert déjà pour réaliser l'ohm est si facile à utiliser, une fois qu'il est installé, qu'il peut servir également pour contrôler les résistances étalons (R).

Nous avons ainsi trois bonnes méthodes pour contrôler respectivement E/R , E et R , alors que deux sont nécessaires et suffisantes; c'est une surabondance bienvenue, car elle permet un contrôle des contrôles.

La haute précision de ces contrôles est précieuse pour maintenir la constance des étalons qui conservent la réalisation de ces unités, mais on n'envisage pas de les redéfinir sur la base de ces méthodes expérimentales.

On dit parfois que les laboratoires utilisent chacun une *unité* (ampère, volt, etc.) un peu différente; il serait sans doute préférable de dire que les *réalisations* de ces unités diffèrent légèrement; en effet, chaque unité est définie d'une façon univoque dans le SI.

11. Questions diverses

Torr. — Le C.C.U. est informé que le classement du torr dans le Tableau 12 (Unités généralement déconseillées) de la brochure sur le SI a donné lieu à quelques objections. Tout en admettant que le torr peut être utile lorsqu'il est employé dans un contexte purement descriptif, le C.C.U. estime que ce nom ne doit pas être utilisé en tant qu'unité SI dans les calculs et maintient le classement du torr dans le Tableau 12.

Décompte décimal des secondes. — En réponse à une demande du Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde concernant l'extension de l'usage du décompte décimal des secondes, le C.C.U. ne voit aucune objection à cette pratique, son opinion étant que tous les préfixes SI sont utilisables avec la seconde.

Nom de l'unité de masse. — Le C.C.U. est informé qu'à la réunion du Comité I.S.O./TC 12/SC2 (Stockholm, juin 1971) on a de nouveau soulevé la question de l'adoption d'un nouveau nom pour l'unité SI de base pour la masse. Sur ce point, le C.C.U. rappelle la déclaration qu'il a faite à

sa 1^{re} session (1967, p. U 15) et confirme que la position qu'il a prise à cette époque (Recommandation U 1 (1967), p. U 23) demeure inchangée.

*

* *

L'ordre du jour étant épuisé, le *Président* exprime ses remerciements aux membres pour leur fructueuse participation aux discussions qui ont permis de confronter les points de vues et de clarifier certaines questions.

Mr *McGlashan* remercie, au nom de ses collègues, le *Président* pour la façon efficace avec laquelle il a dirigé les débats.

(3 septembre 1971)

Recommandations
du Comité Consultatif des Unités
présentées
au Comité International des Poids et Mesures (*)

Sur le nom des unités dans les diverses langues

RECOMMANDATION U 1 (1971)

Le Comité Consultatif des Unités,

CONSIDÉRANT que le *Système International d'Unités* est destiné à être employé dans tous les pays et que la compréhension internationale doit être facilitée,

RECOMMANDE que le nom d'une même unité dans les diverses langues conserve une forme facilement reconnaissable malgré les particularités qui s'imposent dans chaque langue.

Sur les renseignements métrologiques à indiquer dans les rapports sur les résultats de mesures de haute précision

RECOMMANDATION U 2 (1971)

Le Comité Consultatif des Unités,

RECOMMANDE que les rapports sur les mesures de haute précision, en particulier sur la détermination expérimentale de constantes physiques, contiennent les renseignements précisant la façon dont les résultats obtenus dépendent des valeurs attribuées aux étalons de départ et aux autres constantes ou paramètres utilisés, afin que ces résultats puissent être réajustés en cas de besoin.

(*) Ces deux Recommandations ont été approuvées par le Comité International des Poids et Mesures à sa 60^e session (septembre-octobre 1971).

SEPTIÈME RAPPORT
DU
COMITÉ CONSULTATIF DE PHOTOMÉTRIE
AU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES
Par H. KORTE, Rapporteur

Le Comité Consultatif de Photométrie (C.C.P.) a tenu sa septième session au Bureau International des Poids et Mesures, à Sèvres, au cours de quatre séances les mercredi 1^{er} et jeudi 2 septembre 1971.

Étaient présents :

A. MARÉCHAL, membre du C.I.P.M., président du C.C.P.

Les délégués des laboratoires membres :

Conseil National de Recherches [N.R.C.], Ottawa (C. L. SANDERS).
Conservatoire National des Arts et Métiers [C.N.A.M.], Paris
(J. BASTIÉ).

Electrotechnical Laboratory [E.T.L.], Tokyo (K. YOSHIÉ).

Institut de Métrologie D. I. Mendéléev [I.M.M.], Leningrad
(M^{me} V. E. KARTACHEVSKAIA) ⁽¹⁾.

National Bureau of Standards [N.B.S.], Washington (H. J. KOST-
KOWSKI, B. W. STEINER).

National Physical Laboratory [N.P.L.], Teddington (E. J. GILL-
HAM, O. C. JONES).

National Physical Research Laboratory [N.P.R.L.], Pretoria
(C. J. KOK).

National Standards Laboratory [N.S.L.], Chippendale (W. R.
BLEVIN).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [P.T.B.], Braunschweig
(H. KORTE, D. FÖRSTE, K. BISCHOFF).

⁽¹⁾ M^{me} Kartachevskaia n'a pu assister qu'à la dernière séance.

Les membres nominativement désignés :

F. ROTTER (Vienne).

G. A. W. RUTGERS (Utrecht).

Le directeur du Bureau International (J. TERRIEN).

Assistaient aussi à la session : J. BONHOURE et H. MOREAU (Bureau International).

Excusés : Deutsches Amt für Messwesen und Warenprüfung [D.A.M.W.], Berlin (B. FISCHER, S. NÜNDEL). J. OTERO (Madrid), L. PLAZA (Madrid), W. D. WRIGHT (Londres), membres nominativement désignés.

Après avoir ouvert la séance et souhaité la bienvenue à toutes les personnes présentes, le *Président* évoque la mémoire et les mérites de deux membres du Comité Consultatif récemment disparus : M. Debure, décédé en mars 1969, et O. Reeb, décédé le 20 mars 1971.

Il informe également le Comité Consultatif de la décision de Mr Wright, qui désire donner sa démission de membre spécialiste à l'issue de cette session.

Travaux sur l'étalon primaire

Mr *Sanders* résume les délibérations du Groupe de travail de l'étalon primaire photométrique qui a tenu une réunion depuis la 6^e session du C.C.P.; il fait mention des diverses corrections qu'il paraît nécessaire d'appliquer au corps noir employé pour la réalisation de la candela (Annexe P 2) (*).

On évoque ensuite très brièvement les travaux relatifs au corps noir réalisés au D.A.M.W. (Annexe P 5) et à l'I.M.M. (Annexe P 7), ainsi qu'un calcul fait au N.S.L. (Annexe P 6) sur l'éclairement de l'image de l'ouverture de l'étalon primaire.

Au N.P.L., on a construit un nouveau corps noir dans le but de déterminer la température du point de congélation du platine. On a examiné la possibilité d'utiliser ce corps noir à la détermination de la candela; cependant les opinions sur cette question demeurent partagées.

A une question de Mr Blevin, Mr *Terrien* rappelle qu'on n'a jamais imposé de spécifications particulières pour la réalisation du corps noir. Il s'ensuit une discussion sur les difficultés que l'on rencontre quand on veut utiliser un corps noir de conception habituelle. Mr *Jones* indique alors l'existence de la lampe à corps noir (Annexe P 8) mise au point au N.P.L. et qui, à son avis, pourrait peut-être convenir comme corps noir étalon primaire; il est nécessaire et suffisant pour cela de déterminer la température de la cavité par pyrométrie optique.

(*) Les Annexes P mentionnées dans ce rapport sont publiées dans *Comité Consultatif de Photométrie*, 7^e session, 1971.

Le C.C.P. recommande finalement que l'on poursuive l'étude et l'emploi des sources de rayonnement ayant des propriétés voisines de celles du corps noir (*Recommandation P 2* (1971), p. 124).

La P.T.B., le D.A.M.W., le N.B.S., le N.P.L., l'I.M.M. expriment leur intention de poursuivre des études sur l'étalon primaire photométrique dans le futur immédiat.

Température du point de congélation du platine

La détermination de la valeur du point de congélation du platine résulte de la comparaison des densités spectrales de la luminance énergétique à une longueur d'onde donnée du rayonnement d'un corps noir au point de congélation du platine et au point de congélation de l'or; cette valeur dépend donc des valeurs qui sont attribuées au point de l'or et à la seconde constante de rayonnement de l'équation de Planck. La mesure de la température dans l'Échelle Internationale Pratique de Température de 1968 (E.I.P.T.-68) est donc actuellement la meilleure façon d'obtenir la température thermodynamique.

La température du point de congélation du platine, qui est un point de référence secondaire de l'E.I.P.T.-68, repose sur des déterminations très anciennes (1930-1934), mais on signale une récente détermination faite au N.P.L. qui fournit une valeur plus faible que la valeur admise actuellement (Annexe P 9).

Le C.C.P. appuie en conséquence les travaux prévus pour une connaissance plus exacte de la température du point de congélation du platine (*Recommandation P 1* (1971), p. 124).

Radiométrie absolue

Depuis plusieurs années on étudie les possibilités offertes par la radiométrie absolue pour définir la candela (Annexe P 10). Pour le moment il ne semble pas raisonnable d'effectuer un tel changement; les progrès obtenus dans le futur, soit sur le corps noir, soit sur la radiométrie absolue fixeront la voie à suivre.

En ce qui concerne les valeurs de l'efficacité lumineuse spectrale maximale K_m , on dispose des résultats suivants:

673 lm/W, valeur *calculée* avec $T(\text{Pt}) = 2\,045$ K (valeur admise dans l'E.I.P.T.-68).

690 lm/W, valeur *calculée* avec la plus récente valeur de $T(\text{Pt})$ obtenue au N.P.L. (2 040,8 K). (On rappelle que la valeur *mesurée* au N.P.L. par radiométrie absolue était de 686 lm/W).

On évoque alors en détail les propriétés des radiomètres absolus; on discute en particulier de l'équivalence de l'échauffement par rayonnement et de l'échauffement par énergie électrique.

On évoque également les différents types de construction des radiomètres absolus utilisés au N.S.L. ainsi que dans plusieurs autres laboratoires, et le C.C.P. adopte à ce sujet la *Recommandation P 3* (1971) p. 125.

Constante de Stefan-Boltzmann

Cette importante constante a été récemment déterminée au N.S.L. (*Metrologia*, 7, 1971, p. 15). La valeur obtenue après application des corrections nécessaires est pour la première fois en bon accord, à 0,1 % près, avec la valeur calculée à partir des constantes atomiques fondamentales.

Travaux de spectrophotométrie

Dans le but de rattacher les unités établies pour différentes répartitions spectrales du rayonnement, des travaux spectrophotométriques ont été effectués au D.A.M.W. (Annexe P 13), au N.B.S. et au N.R.C. (Annexe P 4, Question 3).

Les résultats obtenus ont conduit le N.B.S. à modifier son unité d'intensité lumineuse à 2 357 K de — 0,4 % et son unité de flux lumineux à 2 793 K de — 0,25 %; le N.R.C. a corrigé également son unité de flux lumineux à 2 793 K de — 0,8 %.

Récepteur $V(\lambda)$

Des photopiles au silicium, assez bien corrigées pour que l'on puisse les assimiler à des récepteurs $V(\lambda)$, sont disponibles sur le marché (*PTB-Mitteilungen*, 3, 1969, p. 153).

Mr *Blevin* donne alors un exemple d'un filtre de verre obtenu en Australie et qui permet la réalisation d'un récepteur absolu $V(\lambda)$, satisfaisant pour les rayonnements voisins de celui du corps noir à 2 856 K (Annexe P 11).

Puis Mr *Rutgers* indique une forme d'approximation de la courbe $V(\lambda)$ pour le calcul sur ordinateur des grandeurs photométriques à partir des grandeurs énergétiques (Annexe P 14).

Comparaisons internationales des étalons d'intensité et de flux lumineux

Mr *Bonhoure* expose rapidement dans quelles conditions, améliorées par rapport à la comparaison précédente, ont été effectuées au B.I.P.M. les mesures de la 5^e comparaison (1969) des étalons nationaux d'intensité et de flux lumineux, et il indique quels sont les résultats obtenus.

Aucune nouvelle réalisation de l'étalon primaire photométrique n'ayant été effectuée depuis la 4^e comparaison (1961), les résultats actuels permettent seulement de voir comment les divers laboratoires ont gardé leurs unités; les résultats peuvent être considérés comme satisfaisants pour les étalons d'intensité lumineuse à la température de congélation du platine et pour les étalons de flux lumineux; pour les étalons d'intensité lumineuse à température de couleur plus élevée, les résultats sont moins satisfaisants par suite de la moins bonne qualité des lampes utilisées (Annexe P 12).

Unification internationale des unités photométriques

Après avoir examiné les résultats de la 5^e comparaison internationale des étalons photométriques et compte tenu des incertitudes qui affectent la réalisation pratique de l'étalon primaire et l'utilisation des lampes à incandescence étalons secondaires, les représentants des laboratoires nationaux estiment tous qu'il n'est pas actuellement désirable d'ajuster les valeurs attribuées à leurs étalons pour réaliser un accord qui ne serait que temporaire et fallacieux.

On propose que, pour une comparaison internationale ultérieure, et dans le but de clarifier la situation, les laboratoires fournissent au B.I.P.M. les valeurs d'étalonnage de leurs lampes étalons :

1^o dans l'unité réellement en vigueur;

2^o *seulement s'il y a lieu*, dans l'unité que le laboratoire estime la plus exactement conforme à sa définition.

Qualité des lampes étalons

Dans plusieurs pays, et à la demande des laboratoires de métrologie, des travaux sont effectués en vue de construire de nouveaux types de lampes étalons d'intensité lumineuse à haute température de couleur avec des propriétés supérieures aux lampes actuelles (Annexe P 4, Question 4).

Mr Jones montre un type de lampe étudié au N.P.L. comme étalon de température de couleur jusqu'à 3 400 K, mais pouvant éventuellement servir d'étalon d'intensité lumineuse (filament spiralé, sans crochets supports; 17 V, 28 A à 3 000 K; durée de vie : 1 500 h).

Comparaisons internationales futures

Pour les étalons d'intensité lumineuse à la température du point de congélation du platine et pour les étalons de flux lumineux, il n'est pas envisagé de nouvelles comparaisons avant une ou plusieurs réalisations de l'étalon primaire de lumière.

Une nouvelle comparaison de lampes étalons d'intensité lumineuse à température de couleur élevée est souhaitable, mais elle ne sera envisagée que lorsqu'un type de lampes suffisamment stable sera disponible.

Mr *Blevin* annonce que le N.S.L. participera aux prochaines comparaisons internationales.

Rattachement du lumen à la candela

Le N.P.L. expose le travail effectué dans ce domaine; le résultat obtenu conduit à une unité de flux lumineux plus grande de 0,5 %, mais le N.P.L. estime que ce résultat doit être confirmé par d'autres mesures avant d'envisager une modification de l'unité en vigueur (Annexe P 4, Question 3).

Comparaison internationale de lampes étalonnées en unités énergétiques

Cette comparaison, organisée par le N.P.L. avec sept autres laboratoires nationaux, s'est effectuée en 1966 sur des lampes étalons à filament de tungstène (Osram Wi 41), réglées à 2 700 K, et étalonnées suivant l'éclairement énergétique qu'elles produisent dans des conditions spécifiées.

Mr *Gillham* présente les résultats de cette comparaison (Annexe P 3) et indique que l'écart maximal entre les échelles radiométriques est un peu supérieur à 2 %.

Définition de la candela

Au cours d'une discussion longue et animée, tous les aspects du problème sont soulevés, ce qui permet d'établir les mérites respectifs de la définition actuelle de la candela et d'une autre définition fondée sur une relation convenue entre les grandeurs photométriques et radiométriques (*Recommandation* P 4 (1971), p. 125).

Les arguments suivants sont destinés à stimuler les discussions ultérieures du C.C.P.

A. Arguments en faveur de la définition actuelle

1. Le fait que la définition existe est un argument pour qu'elle soit conservée, à moins qu'il n'y ait de bonnes raisons d'en changer.

2. Les incertitudes sur la valeur thermodynamique de $T(\text{Pt})$ n'ont aucune importance lorsqu'on réalise la candela et elles en ont peu dans les mesures des grandeurs photométriques lorsqu'on réalise la candela en construisant effectivement un corps noir à $T(\text{Pt})$ [mais elles ont une importance considérable dans d'autres méthodes de réalisation, telles que celles qui utilisent un radiomètre absolu et un filtre $V(\lambda)$].

3. L'unité définie est indépendante des constantes de rayonnement et de $V(\lambda)$; par voie de conséquence, elle s'applique à la photométrie photopique, mésopique et scotopique.

B. *Arguments en faveur d'une autre définition, fondée sur une relation convenue entre les grandeurs photométriques et radiométriques* (c'est-à-dire une valeur convenue en watts par stéradian pour l'intensité énergétique qui équivaut à 1 candela pour le rayonnement monochromatique d'une longueur d'onde donnée, ou une valeur convenue en watts pour le flux énergétique qui équivaut à 1 lumen pour une longueur d'onde donnée).

1. Cette définition, avec la fonction $V(\lambda)$ admise internationalement, donnerait une relation exacte et connue entre les grandeurs spectroradiométriques et photométriques pour le rayonnement monochromatique de n'importe quelle longueur d'onde.

2. La nature objective et physique des grandeurs photométriques, et leur dépendance de la courbe $V(\lambda)$ seraient mieux comprises par les hommes de science en général.

3. Comme elle n'implique aucune préférence pour une méthode expérimentale particulière pour réaliser la candela, cette définition devrait conduire à une diversification des méthodes utilisées et par conséquent à une meilleure compréhension des erreurs systématiques, à leur diminution, et peut-être à améliorer l'accord général.

4. Les incertitudes sur la valeur thermodynamique de $T(\text{Pt})$ seraient sans importance dans les réalisations de la candela [sauf dans certaines réalisations qui utilisent un corps noir à $T(\text{Pt})$].

Questions diverses

Situation des Groupes de travail. — Le Groupe de travail de l'étalon primaire photométrique ayant terminé les tâches particulières qui lui avaient été assignées, ses membres sont félicités pour le travail accompli et le Groupe est dissous.

Pour le Groupe de travail de la radiométrie, sa composition devrait être revue ou confirmée.

Modification du nom du Comité Consultatif. — Pour introduire officiellement la radiométrie dans les activités du C.C.P., celui-ci propose de changer son nom en *Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie* (C.C.P.R.) (*Recommandation P 5* (1971), p. 126).

Valeurs de $V(\lambda)$. — Le C.C.P. estime qu'il y aurait intérêt à utiliser dorénavant pour $V(\lambda)$, les valeurs $\bar{y}(\lambda)$ de 1 en 1 nm qui figurent dans le document de la Commission Internationale de l'Éclairage: « *Colorimetry; Official Recommendations* » (Publication CIE No. 15, 1971).

En conclusion de ses travaux, le Comité Consultatif adopte les cinq recommandations ci-après et le Président remercie ses collègues pour le travail accompli au cours de cette session.

(3 septembre 1971)

**Recommandations
du Comité Consultatif de Photométrie
présentées
au Comité International des Poids et Mesures (*)**

Sur la température thermodynamique du point de congélation du platine

RECOMMANDATION P 1 (1971)

Le Comité Consultatif de Photométrie,

CONSIDÉRANT que la liaison des études photométriques aux études radiométriques fait intervenir les lois du rayonnement et nécessite la connaissance de la température thermodynamique du point de congélation du platine,

APPUIE la recommandation que le Comité Consultatif de Thermométrie a adoptée à sa 9^e session (1971) afin que d'autres mesures de la température de congélation du platine soient effectuées.

Poursuite des études sur les sources de rayonnement du type corps noir

RECOMMANDATION P 2 (1971)

Le Comité Consultatif de Photométrie,

CONSIDÉRANT

— le rôle important joué en photométrie et en radiométrie par les sources de rayonnement ayant des propriétés voisines de celles du corps noir,

— les résultats prometteurs obtenus au National Physical Laboratory

(*) Ces cinq Recommandations ont été approuvées par le Comité International des Poids et Mesures à sa 60^e session (septembre-octobre 1971).

par l'emploi d'un nouveau type de cavité rayonnante dans la mesure du point de congélation du platine et par l'utilisation des lampes à incandescence simulant un corps noir,

RECOMMANDE que l'on poursuive l'étude et l'emploi de ces sources de rayonnement.

Poursuite des études sur les méthodes utilisant des récepteurs thermiques absolus

RECOMMANDATION P 3 (1971)

Le Comité Consultatif de Photométrie,

CONSIDÉRANT

— la Recommandation 2 adoptée par le Comité Consultatif de Photométrie en 1962 concernant la possibilité de définir les grandeurs photométriques par la fixation d'une valeur de l'efficacité lumineuse d'une radiation monochromatique, et de mesurer ces grandeurs au moyen d'un récepteur thermique absolu combiné à un filtre dont le facteur de transmission soit connu et approximativement proportionnel à $V(\lambda)$ aux diverses longueurs d'onde,

— l'existence d'autres méthodes également possibles, en particulier par spectroradiométrie absolue,

— les résultats précis et prometteurs obtenus dans quelques laboratoires et tout particulièrement au National Standards Laboratory dans le perfectionnement et l'utilisation de récepteurs thermiques absolus,

RECOMMANDE que des études relatives à ces diverses méthodes soient entreprises ou poursuivies et en particulier que les récepteurs thermiques absolus construits d'une façon différente par divers laboratoires soient échangés, afin que des mesures comparatives permettent de déceler leurs erreurs systématiques éventuelles.

Sur la relation entre les expressions en lumens et en watts du flux des rayonnements optiques monochromatiques

RECOMMANDATION P 4 (1971)

Le Comité Consultatif de Photométrie

INSISTE sur l'importance d'obtenir une relation beaucoup plus exacte qu'à présent entre l'expression en lumens et l'expression en watts du flux des rayonnements optiques monochromatiques à toute longueur d'onde.

Changement du nom du C.C.P.

RECOMMANDATION P 5 (1971)

Le Comité Consultatif de Photométrie,

CONSIDÉRANT la grande difficulté des mesures radiométriques en rayonnement total et en rayonnement spectral, et l'importance croissante de telles mesures dans maints domaines de la science et de la technologie,

RECOMMANDE que la radiométrie soit considérée comme une activité au moins aussi importante que la photométrie et que le nom du Comité Consultatif de Photométrie soit changé en celui de « Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie ».

Appendice

Plan d'étude proposé par le Groupe de travail de la Radiométrie

Au cours d'une réunion officieuse tenue le 1^{er} septembre 1971, on a étudié un certain nombre de propositions concernant la collaboration entre laboratoires nationaux, afin de poursuivre les recherches sur l'emploi de méthodes radiométriques, fondées sur la calorimétrie, pour conserver et améliorer la candela. On a considéré comme réalisables les projets suivants :

1^o Échange de radiomètres absolus pour effectuer une comparaison entre les différents types d'instruments et les méthodes d'utilisation correspondantes.

Sauf dans les cas où la méthode de mesure est entièrement autonome, il serait nécessaire d'utiliser pour de telles comparaisons un rayonnement d'une qualité spectrale définie de façon suffisamment étroite en rapport avec la sélectivité du radiomètre. Une lampe à filament de tungstène à 2 859 K avec un filtre $V(\lambda)$ assez grossier conviendrait tout à fait.

2^o Mise au point ultérieure, si nécessaire, de filtres $V(\lambda)$ de verre et échange de ces filtres pour des mesures de transmission spectrale.

3^o Détermination de K_m par les laboratoires qui ont pris part aux travaux définis en 1^o et 2^o.

La partie radiométrique de cette détermination ne nécessiterait aucune collaboration entre laboratoires, mais de nouvelles comparaisons photométriques s'avèreraient peut-être nécessaires pour s'assurer que les valeurs de K_m obtenues se rapportent à la même unité photométrique, en particulier parce qu'il serait sans doute souhaitable d'utiliser des étalons à 2 859 K pour ces travaux.

Les mesures décrites ci-dessus n'ont pas un caractère de routine et ne sont pas de celles qui devraient être entreprises suivant un effort concerté avec un programme strict; plus probablement, elles devraient être effectuées entre paires de laboratoires, selon l'occasion. Toutefois, afin de constituer le stimulant nécessaire, une date devrait être fixée pour la réunion du Groupe de travail qui étudierait les progrès réalisés.

Obtenir une documentation complète des méthodes de mesure constituerait une partie essentielle du programme de coopération.

La comparaison des étalons d'intensité énergétique spectrale a un rôle essentiel à jouer dans l'unification des étalons photométriques et radiométriques. C'est pourquoi la comparaison des échelles nationales d'éclairement énergétique spectral qui est actuellement préparée par K. Yoshié (E.T.L.) dans le cadre des travaux du sous-comité de spectroradiométrie du Comité E-1.2 de la Commission Internationale de l'Éclairage (C.I.E.) sera très utile. Une comparaison semblable des échelles nationales de luminance énergétique spectrale devrait être effectuée ultérieurement.

ANNEXE 1

Statut du personnel du Bureau International des Poids et Mesures

Dans ce qui suit, le « Comité » désigne le Comité International des Poids et Mesures.

ARTICLE 1^{er}. — Les fonctionnaires du Bureau International comprennent un directeur, le personnel des laboratoires, le personnel des services, et un sous-directeur dans les périodes où le Comité en décide ainsi.

Un personnel contractuel peut être engagé pour des tâches d'exécution ou de durée limitée.

L'effectif d'ensemble est établi par le Comité en fonction du programme approuvé par la Conférence Générale des Poids et Mesures.

ART. 2. — Le tableau suivant indique les titres et limites d'âge des fonctionnaires et leur classement entre 14 grades :

	Grade	Limite d'âge
Directeur		70 ans
Sous-directeur		70
<i>Laboratoires</i>		
Physicien chercheur principal	12 13 14	70
Physicien principal	10 11	70
Métrologiste principal	10 11	70
Physicien	8 9 10	68
Métrologiste	8 9 10	68
Assistant	6 7 8	68
Technicien principal	6 7 8 9	68
Technicien	4 5 6	68
Dessinateur	3 4 5	66
Calculateur principal	3 4 5	66
Calculateur	1 2 3	66
Mécanicien principal	6 7	64
Mécanicien	4 5 6	64
<i>Services</i>		
Métrologiste rédacteur	8 9 10	70
Administrateur	7 8 9 10	70
Comptable	4 5 6 7	66
Secrétaire principale	7 8 9	66
Secrétaire	4 5 6	66
Dactylographe	2 3 4	64
Gardien	3 4 5 6	64
Agent d'entretien	3 4 5	64
Aide	1 2 3	64

Le directeur, le sous-directeur et les « adjoints », c'est-à-dire les physiciens chercheurs principaux, les physiciens principaux et les métrologistes principaux, sont nommés par le Comité; les autres membres du personnel sont nommés par le directeur (Art. 17 du Règlement annexé à la Convention du Mètre).

Sous la réserve concernant le directeur, inscrite à l'article 9 du Règlement annexé à la Convention du Mètre, le personnel peut appartenir à toutes les nationalités.

ART. 3. — Le Comité fixe la grille des traitements des fonctionnaires pour les 14 grades; chacun de ces grades est subdivisé en plusieurs échelons.

ART. 4. — Le directeur peut résigner ses fonctions en avertissant le Comité un an au moins à l'avance. Les autres préavis de démission sont les suivants: sous-directeur et adjoints: six mois; fonctionnaires d'un grade égal ou supérieur à 7: trois mois; autres fonctionnaires et personnel contractuel: un mois.

Toutes les conditions relatives aux démissions sont soumises à la clause de réciprocité; cependant la faute grave ou l'incapacité peut entraîner le renvoi ou la mise à la retraite immédiats.

ART. 5. — En cas de maladie tout fonctionnaire, s'il a plus de deux années d'ancienneté, a droit à son traitement entier pendant les six premiers mois d'absence et à la moitié de son traitement pendant les six mois suivants. Il est ensuite mis en congé non rémunéré ou, le cas échéant, sous le régime d'invalidité régi par la Caisse de Retraites et de Prévoyance.

ART. 6. — La durée des congés annuels est la suivante: directeur: 48 jours ouvrables; sous-directeur et fonctionnaires d'un grade égal ou supérieur à 10: 37 jours ouvrables; fonctionnaires d'un grade égal ou inférieur à 9: 26 jours ouvrables; personnel contractuel: 22 jours ouvrables.

L'époque des congés est fixée en tenant compte des nécessités du service.

ART. 7. — La durée normale du travail est de 40 heures par semaine, en cinq jours; cette durée peut être portée à 44 heures pour les travaux manuels.

ART. 8. — Les fonctionnaires participent à des régimes spéciaux de retraite et de prévoyance, de Sécurité Sociale, et d'allocations familiales, régis par des textes distincts; ils bénéficient des privilèges et immunités de l'Accord de Siège signé par le Gouvernement français le 25 avril 1969, selon leur appartenance aux différentes catégories de personnel définies dans l'Annexe à cet Accord.

ART. 9. — Les dispositions du Règlement de 1933 (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 15, 1933, p. 55), non contraires aux dispositions du présent Statut, demeurent en vigueur.

Le Comité se réserve d'apporter à ce Statut, en tous temps, les modifications qu'il jugera utiles.

NOTICE NÉCROLOGIQUE

YRJÖ VÄISÄLÄ (1891-1971)

Par Liisi OTERMA (Turku)

Le 21 juillet 1971, le Comité International des Poids et Mesures perdait un de ses membres, l'Académicien finlandais Yrjö Väisälä, élu au Comité en octobre 1954.

Y. Väisälä est né à Kontiolahti, commune rurale de la Carélie du Nord, le 6 septembre 1891. C'est donc un peu avant de fêter son 80^e anniversaire que se termina brusquement sa carrière entièrement consacrée à la science.

Alors qu'il était encore écolier, on pouvait déjà trouver chez Y. Väisälä ce trait qui a ensuite caractérisé toute son activité : son effort constant pour atteindre la plus grande précision possible. Cette tendance l'a toujours amené à projeter de nouvelles méthodes d'observation et à construire de nouveaux appareils d'observation et de mesure. Ses premiers instruments de mesure ont été un cercle vertical, un sextant, un théodolite et deux instruments des passages, dont il avait fait lui-même toutes les parties, y compris les cercles gradués et le niveau d'eau. Dans les mesures de latitude il a ainsi atteint une précision de 2".

Y. Väisälä a fait ses études universitaires à Helsinki. En deuxième année il obtint une place à l'Observatoire; il était chargé de rechercher des variations de latitude avec un petit instrument des passages (Repsold). La première observation eut lieu le 3 décembre 1910, de sorte que, en 1970, il a pu célébrer le 60^e anniversaire de ses observations de latitude.

Ayant passé son examen en 1912, il a effectué des mesures magnétiques et en 1915 il entra comme mathématicien à la compagnie d'assurance sur la vie « Suomi ». Là il dut calculer indéfiniment des « morts » et des « marcs » ce qui l'ennuyait énormément, et il se mit à fabriquer un miroir. Lorsque l'Institut Géodésique de Finlande fut fondé en 1918, il y entra comme géodésien. Il perdait ainsi la moitié de son traitement, mais il pouvait mesurer des angles et calculer des secondes. Chez lui il a continué les travaux d'optique. Pour le contrôle de son miroir en chantier il a utilisé surtout la méthode de Common. L'apparition des franges gênantes lui fit penser que l'on devrait en tirer profit. Peu après, la méthode des deux fentes pour le contrôle des objectifs fut découverte, méthode dont la précision est décuplée par rapport à celle des méthodes antérieures.

Dans sa thèse de doctorat, publiée en 1922, il a exposé, dans le détail,

l'emploi de cette méthode. Il y a proposé aussi d'autres méthodes pour le contrôle des objectifs : celle à 3 fentes, à 3 ouvertures, à 4 ouvertures, etc. Surtout il y a traité en détail le phénomène d'interférence à 3 fentes, en soulignant l'énorme netteté des franges. Ce n'est qu'un quart de siècle plus tard que la valeur de cette méthode fut comprise ailleurs, surtout en rapport avec le contraste de phase.

Il lui vint à l'esprit une fois que, dans sa méthode de contrôle des objectifs, il s'agit de mesurer des longueurs et cette pensée ne l'a plus quitté. Heureusement, il n'avait pas lu le détail des difficultés que Michelson avait rencontrées en mesurant la distance de 1 m au moyen des interférences. Ainsi il avait le courage de penser à la possibilité de mesurer de longues distances à l'aide des interférences et, dès le printemps 1923, une nouvelle méthode de mesure pour longues distances était issue de sa méthode de contrôle des objectifs. Il a effectué les premières expériences sur son bureau, qu'il pouvait traiter tout à fait selon les besoins, car c'était une table faite par lui-même. Déjà en 1923 il en conclut que sa méthode de multiplication optique permettrait de mesurer même une distance d'un kilomètre avec une précision de 10^{-7} . A l'exception de sa femme, presque personne ne le crut et il a dû continuer tout seul ses travaux.

A la fin de 1924 Y. Väisälä fut nommé professeur de physique à l'Université de Turku, récemment fondée, et à partir de 1926 il y a exercé aussi les fonctions de professeur d'astronomie. Il y avait beaucoup à faire : organiser tout l'enseignement de la physique et de l'astronomie, installer un laboratoire de physique et un atelier de mécanique, créer un observatoire. En plus, il a poursuivi intensivement ses recherches scientifiques.

En 1929, il a réussi à mesurer la distance de 192 m et l'appareillage a été développé à peu près tel qu'il est encore. Surtout en vue des mesures en plein air il a préféré l'emploi d'un étalon matériel pour déterminer la distance de départ. A cet effet il a créé son propre système des Mètres à bouts en quartz fondu. Dans la plupart des cas les faces terminales ont été taillées et polies en forme sphérique. Dans les mesures sur le terrain de tels Mètres se sont montrés absolument supérieurs à ceux à bouts plans et les précisions atteintes dans le laboratoire sont égales. Pour comparer les Mètres les uns avec les autres il a construit un comparateur spécial dans le laboratoire de physique, situé, à cette époque-là, au centre de la ville. Pour y atténuer les vibrations, le comparateur devait être suspendu à des cordes de piano. C'est pourquoi Väisälä l'a baptisé « le piano » et il garde toujours ce nom. En dépit des conditions défavorables on y a atteint une précision de $\pm 0,02 \mu\text{m}$, qui était décuplée par rapport à la précision du système métrique officiel de cette époque-là.

La prédiction de Y. Väisälä s'est bien vérifiée, lorsque ses disciples, en 1947, ont mesuré la base de l'Institut Géodésique. L'erreur moyenne sur la distance totale de 864 m ne fut que de $\pm 0,05 \text{ mm}$. Les congrès internationaux ont recommandé de construire des bases de référence de 0,5 à 1 km dans divers continents et de mesurer leur longueur avec la méthode de Y. Väisälä. Il a fabriqué plus de dix de ces comparateurs interférentiels pour divers pays et ce sont surtout ses disciples qui ont effectué les mesures.

A côté des recherches métrologiques, il avait des travaux d'astronomie et d'optique à faire. En 1924, pour préparer ses leçons, il a dessiné, dans

son carnet de poche, des combinaisons à miroir sphérique dont l'aberration sphérique est supprimée par une lame correctrice déformée. Parmi ces systèmes se trouve aussi celui ne présentant pas de coma, le même système que Schmidt a réalisé et publié en 1931 et qui était peut-être l'invention la plus importante dans ce domaine depuis 200 ans. Pour avoir un système mieux approprié aux mesures de précision Y. Väisälä s'est mis de nouveau à considérer le problème. Il a projeté une combinaison dont la surface-image est aplanie au moyen d'une lentille bi-convexe. Au cours du printemps 1934, il a construit un petit télescope d'essai de ce type (172/344) et, immédiatement après, un autre télescope anastigmatique de plus grandes dimensions (500/1031) qu'il a utilisé, dès l'automne 1934, pour les observations photographiques des petites planètes et des comètes.

Au printemps 1935 Y. Väisälä a découvert ses premières petites planètes. Au cours des années suivantes, il a tout organisé pour des travaux efficaces sur de petites planètes. Il a projeté une nouvelle méthode de photographie, dite à « doubles points », construit un comparateur pour les mesures exactes des clichés, mis au point une méthode de réduction des mesures, proposé une méthode simple pour la détermination des orbites. A l'automne 1937, le télescope a été muni d'une monture appropriée sous sa propre coupole et, en 1938, « une grande chasse » de petites planètes a été commencée avec tant de succès que, deux fois, le nombre de découvertes annuelles de Turku a même dépassé celui des autres observatoires réunis.

A ce propos, il convient de mentionner un événement assez intéressant. Y. Väisälä avait fait, déjà à Helsinki, des expériences avec des fusées, pour avoir de longs côtés de triangles. Il y repensa lorsque, étant en train de photographier de petites planètes et regardant vers Helsinki, il découvrit des étoiles instantanées parmi les étoiles fixes. C'étaient des explosions d'obus de défense aérienne sur Helsinki. Le résultat en fut la méthode de la triangulation astronomique qu'il a publiée en 1946. A cette occasion il a aussi proposé la création de satellites artificiels de la Terre, que l'on pourrait utiliser, entre autres, pour la triangulation astronomique, même au delà des océans. La première vraie mesure selon cette méthode a été faite à l'aide de lampes-éclair et de ballons météorologiques. Les éclairs de magnésium ont été photographiés avec les télescopes anastigmatiques des Observatoires de Turku (500/1031) et de Helsinki (340/688). La précision atteinte a encouragé à continuer et l'Institut Géodésique contrôlera toute la triangulation de Finlande par des triangles ayant des côtés de 200 km environ. A cet effet, trois télescopes anastigmatiques (400/1031) ont été construits, sous la direction de Y. Väisälä. Jusqu'à présent, plusieurs satellites, passifs et actifs, ont été lancés pour des buts géodésiques. Pour les observer on a organisé un réseau international d'observateurs et les triangulations au delà des océans sont tout à fait possibles.

Vers la fin des années 1940, les observations scientifiques sont devenues très difficiles, car la ville s'est étendue jusqu'à l'Observatoire. Un nouveau site s'est offert à 12 km à l'est de Turku, sur la ferme Tuorla que l'Université avait reçue en donation. L'Université y a mis à la disposition de Y. Väisälä une colline rocheuse de 2 ha et il s'est mis à projeter un nouvel institut qui se trouvera dans et sur la colline. En 1951 il fut nommé membre de l'Académie de Finlande et il se retira de la chaire de physique. L'année

suiuante, l'Université a fondé, sur l'initiative de Väisälä, l'Institut de recherches optiques et astronomiques, dont il devint le directeur à vie. Dès lors, la création de cet institut a entièrement occupé sa vie.

Le laboratoire souterrain comprend un tunnel de 70 m, traversant la colline, et quatre tunnels latéraux (50 m environ). Dans un des tunnels latéraux est installé un atelier d'optique dans des conditions idéales. C'est ici que l'on a fabriqué, comme « chef d'œuvre », la lame correctrice de 1 m pour l'observatoire de Kvistaberg, filiale d'Upsal.

En 1953, les premières mesures ont été effectuées dans le nouveau comparateur, construit dans un autre tunnel latéral. L'appareillage est installé sur un long pilier en béton, mais il porte toujours le nom de « piano ». Si on y travaille avec la plus grande précaution, la précision de ± 4 nm peut être atteinte dans une comparaison. Dès que le mètre fut officiellement défini par un étalon optique, il devint possible de déterminer aussi les longueurs absolues du « système Väisälä » avec une grande précision. Une mesure absolue provisoire fut réalisée dans « le petit piano », installé sur un autre pilier, en utilisant une méthode d'addition proposée par Väisälä. Plus tard, on a construit « le piano du sauna », dans un tunnel latéral bien isolé dont la température peut être portée de -5 à $+50$ °C, pour des mesures relatives des coefficients de dilatation. Dans le long tunnel, à température constante de $+6$ °C, se trouve « le piano à queue » qui a servi pour la détermination absolue des coefficients de dilatation. (Indiquons ici que 79 Mètres ont été fabriqués selon le « système Väisälä ». Pour des recherches on en a fabriqué en divers matériaux, surtout en matériaux à dilatabilité pratiquement nulle (« Zerodur » et « Cer-Vit »), pour en rechercher la stabilité. La constance des Mètres en quartz fondu s'est montrée bonne pendant plus de 40 ans). Dans le long tunnel se trouve aussi une base de 48 m. Selon les mesures d'essai, le contrôle des fils géodésiques en invar peut être simplement réalisé par une seule multiplication par le facteur 24, ce qui a bien réussi dans les conditions de laboratoire.

Mais l'Institut de Tuorla n'est pas seulement pour des travaux souterrains. Il y a des constructions aussi sur la colline. Citons d'abord la base d'essai de 192 m où Väisälä a effectué de nombreuses mesures dans diverses conditions, surtout de 1963 à 1967. Dès que la base fut protégée par un tuyau isolé, les mesures ont réussi même au soleil. Le résultat de ses recherches fut intéressant. Les mouvements des piliers présentent une période annuelle évidente; ils sont, certes, en retard de 40 à 60 jours par rapport à la température moyenne, mais on n'observe pas de périodes plus longues.

En plus, il y a sur la colline : une tour en béton de 12 m de hauteur, construite sur l'ouverture du tunnel, avec un télescope anastigmatique (400/1031) ayant une vue libre jusqu'à l'horizon; un télescope anastigmatique (700/700/1719) sur une monture originale, sous sa propre coupole; des pavillons pour de petits instruments des passages et pour des expériences avec des modifications d'astrolabe proposées par Väisälä; trois tubes zénithaux; une maison de l'institut, etc.

Le grand tube zénithal mérite une mention spéciale. L'ouverture de l'objectif est de 390 mm et la distance focale de 6 786 mm. Grâce au micromètre spécial, les observations visuelles couvrent un champ de 40'. Certaines étoiles zénithales de 6^e magnitude, les « étoiles de Noël », peuvent être observées toute l'année. Leur ascension droite étant près de 18 h,

elles seront observées à midi vers le solstice d'hiver. L'inclinaison du tube est mesurée selon la méthode antique du fil à plomb; il y en a trois de 5 m environ et leur position est mesurée avec un microscope micrométrique. Depuis 1960, les observations de latitude sont effectuées pour le programme international. La précision atteinte ($\pm 0,11''$, erreur moyenne) est très satisfaisante dans une détermination de latitude.

Le grand tube zénithal a permis à Y. Väisälä la réalisation d'un rêve caressé depuis le temps des études. C'était un humoriste; il avait l'habitude de dire que le petit instrument des passages était son premier amour (le deuxième étant sa femme). Le grand tube zénithal était sa Rachel, qu'il a dû attendre pendant 7×7 ans.

Tous ceux qui ont connu Y. Väisälä se souviennent de lui comme d'un homme de science toujours actif et enthousiaste, dont la vigueur et l'énergie semblaient une merveille. « Cela m'amuse et ce n'est pas immoral », disait-il. En plus de ses qualités de grand savant il possédait un talent pédagogique et nombreux sont les professeurs finlandais dont il a été le maître et l'éducateur.

Cependant, on ne doit pas croire qu'il ne trouvait pas de temps pour autre chose. Pour la vulgarisation de l'astronomie il a fondé à Helsinki, en 1921, la société « Ursa » et plus tard à Turku la société « Turun Ursa », dont il a été le président. Il était aussi président de la « I.S.A.E. » (Internacia Sciencia Asocio Esperantista). Déjà comme écolier il avait appris cette langue internationale, l'Esperanto, et il ne cessait pas de s'étonner de la stupidité du monde qui n'a pas pu résoudre le problème des langues. Il avait toujours le temps pour répondre aux jeunes gens qui lui demandaient des conseils concernant leurs lunettes et leurs télescopes et il leur trouvait ou faisait faire des lentilles et des miroirs, à bon marché, surtout « s'ils avaient une belle écriture ».

En été, il aimait à s'occuper de ses bateaux. Il en avait une dizaine arrimés près de sa maison d'été, le plus cher d'entre eux étant « Johanna » (homonyme de sa femme), un voilier à deux mâts de six tonnes. Les courses à voile qu'il avait faites avec Johanna auraient suffi pour faire le tour du monde et, avec Johanna, il a fait son dernier voyage jusqu'à une île voisine, par une belle journée d'été.

L'élection de Y. Väisälä au Comité International des Poids et Mesures fut pour lui une grande satisfaction personnelle. Ses collègues gardent le souvenir d'un homme dont l'affabilité et la modestie cachaient une grande valeur scientifique et de hautes qualités morales et humaines.

INDEX

- Accélération due à la pesanteur
détermination absolue de g (valeurs 1970-71; microséismes; marées gravimétriques), 38
- Balances
Mettler M5, 59
NBS-2 (premières pesées), 36
- Bâtiments
Grand Pavillon (ravalement façades), 28
Observatoire (transformation salles 4, 5, 7, 8), 27
- Budget 1972, 23
- Bureau International de Métrologie
Légale, coopération avec BIPM, 12, 13
- Candela (sur définition), 122
- Certificats, Notes d'étude, 72
- Chambres d'ionisation
comparaison diaphragmes, 49
comparaisons internationales (NBS, PTB, BIPM), 52
étalonnage (OMH, BARC), 49
- Comités Consultatifs
composition, 21
Photométrie, 20; 7^e rapport, 117; changement de nom, 123
Rayonnements Ionisants (Section II), 20; rapport 1^{re} réunion, 82
réunions futures, 21
Thermométrie, 18; 9^e rapport, 92
Unités, 18; 3^e rapport, 108
- Comité International, 7
bureau du, activités, 12; élection, 25
décès (Y. Väisälä), 11, 12, 129
élection (A. Perlstain), 11, 12
rapport du Secrétaire, 12
- Commission administrative, rapport, 22
- Comparaisons internationales
échelles radiométriques, 122
étalons d'exposition (NBS, PTB, BIPM), 52
étalons photométriques (cd, lm), 120
instruments dans domaine radiofréquences, 47
- Comparateur photoélectrique et interférentiel, 29
- Comptes, 12, 79
- Constante de Stefan-Boltzmann, 120
- Convention du Mètre, adhésion Cameroun, 12
- Dépôt des Prototypes métriques, visite, 25
- Documentation, 74
- Dotation du BIPM, proposition à 14^e CGPM, 13
- Échelle Internationale Pratique de Température de 1968, 93, 99
- Effet Josephson (mise en œuvre), 46
- Électricité
effet Josephson (mise en œuvre), 46
enceinte à air thermorégulée pour piles étalons, 44
instruments dans domaine radiofréquences, comparaisons internationales, 47
- Émetteurs α , mesure absolue énergie, 63
- Étalons
d'exposition (*voir* Chambres d'ionisation)
longueur à traits, 30, 31
photométriques nationaux, comparaisons, 120
primaire photométrique (travaux sur), 118
- Étalons matériels de référence
rôle du BIPM, 18
utilisés en thermométrie de précision (rapport du CCT), 106
- Exa (10^{18}), 110
- Fils géodésiques, 32
- Gravimétrie (*voir* Accélération due à la pesanteur)
- Groupes de travail
Mesure des radionucléides, 86
Photométrie et Radiométrie, 123, 126
Thermométrie, 101
- Interférométrie (*voir* Lasers)
- Lasers ($\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ et 633 nm)
étude causes erreurs systématiques, 34
mesure λ , 33, 36
- Longueurs, 29

- Manométrie (manobarmètres interférentiels), 43
- Masse, unité de (nom), 115
- Masse volumique eau (nouvelles mesures souhaitées), 25
- Masses, 36
- Mètre International (1889)
mesure en λ ^{86}Kr , 30
procès-verbaux sortie et rentrée au Caveau, 24
- Mètres prototypes N° 13 et T3 (BIPM), 31
- Mesures neutroniques
sources de neutrons D(d, n) ^3He , mesures débit de fluence, 65
- Notice
historique, 5
nécrologique (Y. Väisälä), 129
- Organismes internationaux et nationaux
accord de coopération avec le BIML, 12, 13
travaux en liaison avec, 75
- Personnel du BIPM, 9
engagements, 22, 27
statut, 23, 127
traitements, 23
voyages, visites, conférences et exposés, 75
- Péta (10^{15}), 110
- Photométrie, 48
Comité Consultatif, 20; 7^e rapport, 117; changement de nom, 123; recommandations, 124
comparaisons étalons nationaux (cd, lm), 120
définition de la candela, 122
étalon primaire (travaux sur), 118
lampes étalons (qualité), 121
rattachement lm à cd, 122
unités, unification internationale, 121
- Préfixes (péta = 10^{15} , exa = 10^{18}), 110
- Programme travail BIPM, 15
- Publications
du BIPM, 70
extérieures, 70
rapports internes, 71
- Radiométrie, 119
comparaison internationale lampes étalonnées en éclairage énergétique, 122
Groupe de travail, plan d'étude proposé, 126
- Radionucléides, 20, 57
balance Mettler M5, 59
ensemble (N° 3) de comptage par coïncidences $4\pi\beta(\text{CP})-\gamma$, 57
phénomènes aléatoires et statistiques de comptage, 59
rapport 1^{re} réunion (1970), 82
solution de ^{241}Am (étalonnage), 59
- sources solides (préparation et distribution), 58
spectrométrie α (mesure absolue de l'énergie d'émetteurs α), 63
- Rapport du directeur, 22, 27
- Rayonnements ionisants (voir Mesures neutroniques, Radionucléides, Rayons X et γ)
- Rayons X et γ , 49
coefficient atténuation Al et Cu, 54
étalonnage chambres d'ionisation (OMH, BARC), 49
exposition dans faisceau rayons γ ^{60}Co : installation, 49; étude corrections, 51; comparaisons étalons NBS, PTB, BIPM, 52
- Règle géodésique I 5 (4 m), 32
- Règles (1 m et 200 mm), 32
- Rubans géodésiques, 32
- Recommandations des Comités Consultatifs
Photométrie, 124
Thermométrie, 105
Unités, 116
- « Sea-mile », 113
- Spectrométrie α , 63
- Spectrophotométrie (travaux de), 120
- Statut personnel BIPM, 127
- Système International d'Unités (SI) (voir aussi Unités), 74
brochure sur, 100
- Tex, 113
- Thermométrie
Comité Consultatif, 18; 9^e rapport, 92; recommandation, 105
EIPT-1968, 93, 99
progrès dans techniques mesures t , 96
rapport du CCT sur étalons matériels de référence utilisés en, 106
 t thermodynamiques, 95; Au, 40; Pt, 119;
- Torr, 115
- Unités
abréviations dans systèmes traitement et échange information, 111
ampère (meilleure définition souhaitée), 26
candela (sur définition), 122
Comité Consultatif, 18; 3^e rapport, 108; recommandations, 116
de base, indépendance *dimensionnelle*, 113
des grandeurs à caractère logarithmique (bel, néper, etc.), 112
kilowattheure, 110
masse (nom), 115
photométriques (cd, lm), comparaisons internationales, 120; unification internationale, 121

relations entre	tex, 113
unités et constantes physiques, 114	torr, 115
W et VA (et var), J et m.N, Hz et s ⁻¹ ,	
111	Visites et stages au BIPM, 77
« sea-mile », 113	Voyages, visites, conférences et exposés
seconde, décompte décimal, 115	du personnel du BIPM, 75
SI, combinaison avec unités hors SI,	V(λ), récepteur, 120; valeurs à utiliser,
110	123

TABLE DES MATIÈRES

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

60^e Session (Septembre-Octobre 1971)

	Pages
Notice historique	5
Liste des membres du Comité International	7
Liste du personnel du Bureau	9
Ordre du jour de la session	10
Procès-verbaux des séances, 30 septembre-8 octobre 1971	11
Ouverture de la session; quorum; ordre du jour	11
<i>Rapport du Secrétaire du Comité International</i> (Membres du Comité : décès (Y. Väisälä); élection (A. Perlstain). Réunions de Comités Consultatifs. Bureau du C.I.P.M. Accord de coopération entre le B.I.P.M. et le B.I.M.L. Adhésion à la Convention du Mètre (Cameroun). Indications financières)	12
Précision sur l'accord de coopération B.I.P.M.-B.I.M.L.	13
Préparation de la 14 ^e C.G.P.M. :	
Dotation du Bureau International pour 1973-1976 (Discussion du projet de résolution préparé par le Comité International. Approbation du projet de résolution concernant le programme de travail du B.I.P.M. pour 1973-1976. Approbation du projet de résolution concernant les dotations à demander à la C.G.P.M.)	13
Étalons matériels de référence (Conclusions de l'enquête de la Commission <i>ad hoc</i> sur le rôle que pourrait jouer le B.I.P.M. dans ce domaine)	18
<i>Rapports des Comités Consultatifs</i> : Présentation et discussion des rapports des quatre Comités Consultatifs suivants :	
<i>Thermométrie</i> (9 ^e session)	18
<i>Unités</i> (3 ^e session) (Principales conclusions adoptées et commentaires des membres du C.I.P.M. sur certaines d'entre elles (kilowattheure, abréviations pour les unités employées dans les systèmes de traitement et d'échange d'information, opposition à des modifications trop fréquentes dans le SI)	18
<i>Photométrie</i> (7 ^e session) (Approbation du changement de nom : « Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie »)	20
<i>Rayonnements Ionisants</i> : 1 ^{re} réunion de la Section II (Mesure des radio-nucléides)	20

Participation éventuelle du B.I.P.M. à l'étude des doses absorbées dans les faisceaux de neutrons	20
Approbation des diverses recommandations adoptées par les Comités Consultatifs.....	21
Composition et réunions futures des Comités Consultatifs (Nomination de C.A. Swenson comme expert au C.C.T.)	21
<i>Rapport du Directeur et travaux du B.I.P.M.</i> (Présentation du rapport : voir détails plus loin. Prix décernés au directeur et à A. Sakuma)	22
<i>Commission Administrative</i> (Personnel : engagement de deux physiciens. Bâtiments : travaux d'entretien et d'aménagement. Traitements et statut du personnel. Approbation de l'exercice 1970. Projet de budget 1972)	22
Approbation des propositions de la Commission Administrative et adoption du budget pour 1972	23
Procès-verbaux de l'extraction et de la remise en place du Mètre International \mathfrak{M} (1889). Visite du dépôt des Prototypes métriques	24
Élection du bureau du C.I.P.M. (Réélection du bureau sortant)	25
<i>Questions diverses</i>	
Masse volumique de l'eau (Intérêt d'une nouvelle détermination)	25
Définition de l'ampère (Meilleure définition souhaitée)	26
État actuel de la métrologie (Publication de l'exposé présenté par le directeur du B.I.P.M. à la 14 ^e Conférence Générale)	26
Date de la prochaine session du C.I.P.M.	26
Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau International (1 ^{er} octobre 1970-1 ^{er} octobre 1971)	27
I. PERSONNEL. — Engagements (D. Gorman, T. Witt, D. Rotrou)	27
II. BÂTIMENTS. — Observatoire (Achèvement de la transformation des salles 4, 5 et 7; transformation de la salle 8. Peinture de l'entrée et du couloir principal). Grand Pavillon. (Poursuite du ravalement (peinture) de la façade; ponçage des quatre colonnes en marbre. Remise en état du revêtement de la cour)	27
III. INSTRUMENTS ET TRAVAUX	28
Remarques générales.....	28
<i>Longueurs.</i> — Comparateur photoélectrique et interférentiel (Climatisation. Enregistrement automatique sous forme numérique des résultats de certaines mesures). Mètre International \mathfrak{M} (1889) (Mesure en λ du Kr 86; influence de la longueur du spot explorateur). Étalons à traits (Mètres prototypes N° 13 et T 3). Différence entre l'ancienne (1889) et la nouvelle (1960) unité de longueur. Règles diverses (N° 12 925 [Canada], N° 15 481 [Irlande], N° 16 223 [France], N° 16 221 [Italie]). Projet de dilatomètre interférentiel. Base géodésique (Mesure interférentielle de la règle I 5 de 4 m; fils et rubans; invar) ..	29
<i>Interférométrie.</i> — Mesures de longueurs d'onde de lasers (Laser à $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ asservi sur une raie d'absorption saturée du méthane; étude expérimentale des causes d'erreurs systématiques. Lasers à $\lambda = 633 \text{ nm}$). Étude d'un filtre interférentiel	33
<i>Masses.</i> — Premières pesées avec la balance NBS-2	36
<i>Gravimétrie.</i> — Détermination absolue de g (Poursuite des mesures; collaboration internationale; valeurs de g d'août 1970 à août 1971; neutralisation des microséismes à longue période; marées gravimétriques)	38
<i>Thermométrie.</i> — Température thermodynamique du point de congélation de l'or (Poursuite des mesures et premiers résultats obtenus)	40

<i>Manométrie.</i> — Manobaromètres interférentiels	43
<i>Électricité.</i> — Enceinte à air thermorégulée pour la conservation des étalons de force électromotrice de référence du B.I.P.M. Mise en œuvre de l'effet Josephson pour le contrôle de la stabilité des étalons de force électromotrice. Situation des comparaisons circulaires d'instruments dans le domaine des radiofréquences. Contrôle des installations du B.I.P.M. et études courantes	44
<i>Photométrie.</i> — Température de répartition des étalons de flux lumineux du B.I.P.M. Études courantes	48
<i>Rayons X et γ.</i> — Étalonnage de chambres d'ionisation de transfert (O.M.H. et B.A.R.C.). Comparaison des diaphragmes des chambres d'ionisation de la J.E.N. et du B.I.P.M. Détermination ionométrique de l'épaisseur de filtres d'aluminium. Mesure de l'exposition dans un faisceau de rayons γ du ^{60}Co (Modification de l'installation; étude expérimentale de plusieurs corrections; comparaisons internationales d'étalons d'exposition (N.B.S., P.T.B., B.I.P.M.)). Mesure du coefficient d'atténuation, par unité de masse surfacique, de l'aluminium et du cuivre pour un rayonnement γ de 1,33 MeV. Rayonnement diffusé par une source de ^{60}Co ...	49
<i>Radionucléides.</i> — Étalonnage de sources radioactives (Ensemble N° 3 de comptage par coïncidences $4\pi\beta(\text{CP})-\gamma$. Préparation et distribution de sources solides. Étalonnage d'une solution de ^{241}Am . Étude de la balance Mettler M 5). Phénomènes aléatoires et statistiques de comptage (Distorsion d'une distribution de Poisson par un temps mort. Étude d'une série d'impulsions par une méthode de corrélation. Paires de coïncidences fortuites). Spectrométrie α (Mesure absolue de l'énergie de particules α . Champ magnétique. Travaux récents)	57
<i>Mesures neutroniques.</i> — Sources de neutrons $\text{D}(d, n)^3\text{He}$ (Grandeurs intervenant dans la comparaison; facteurs de correction, résultats expérimentaux et discussion). Calcul de l'effet de diffusion multiple coulombienne des deutons. Construction d'une plate-forme surélevée pour l'accélérateur électrostatique	65
Publications du B.I.P.M.	70
Publications extérieures	70
Rapports internes	71
Certificats et Notes d'étude	72
IV. ACTIVITÉS ET RELATIONS EXTÉRIEURES	74
Documentation; Système International d'Unités	74
Travaux en liaison avec des organismes internationaux et nationaux	75
Voyages, visites, conférences et exposés du personnel	75
Visites et stages au B.I.P.M.	77
V. COMPTES	79
Premier Rapport de la Section II (Mesure des radionucléides) du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants au Comité International des Poids et Mesures, par A. Spornol	82
Nouvième Rapport du Comité Consultatif de Thermométrie au Comité International des Poids et Mesures, par M. Durieux	92
Troisième Rapport du Comité Consultatif des Unités au Comité International des Poids et Mesures, par E. Rudberg	108

Septième Rapport du Comité Consultatif de Photométrie au Comité International des Poids et Mesures, par H. Korte	117
Annexe	
1. <i>Statut du personnel du Bureau International des Poids et Mesures.....</i>	127
Notice nécrologique	
Y. Väisälä, par L. Oterma	129
INDEX	135

