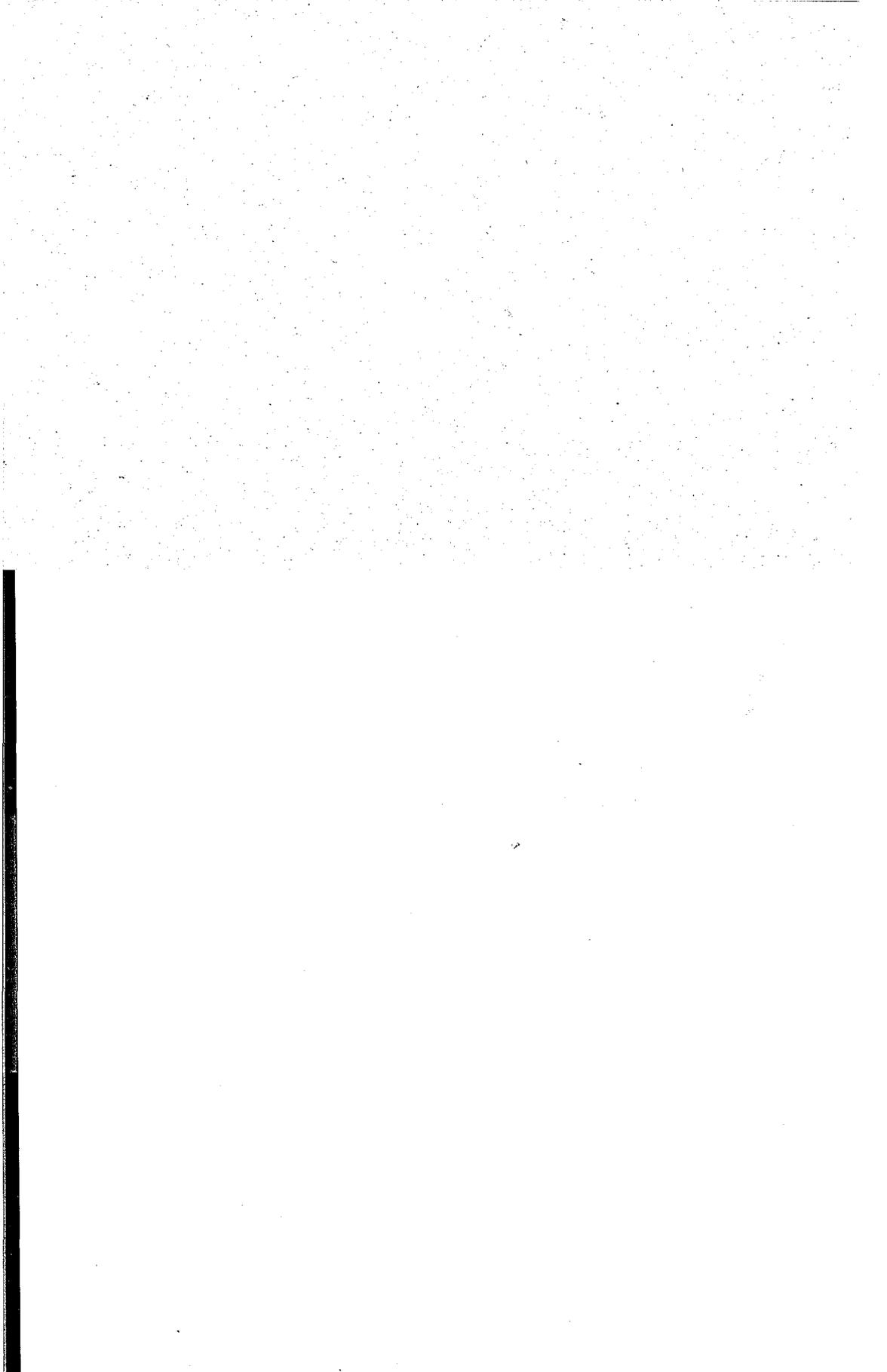


ERRATUM

Procès-Verbaux C.I.P.M., 37, 1969, p. 85

Dans la colonne « Distributions », après « — de Poisson : »,
lire la formule comme suit :

$$P(x) = e^{-\varrho} \frac{\varrho^x}{x!}, \quad x = 0, 1, \dots$$



COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

PROCÈS - VERBAUX

DES SÉANCES

2^e SÉRIE — TOME 38

59^e SESSION — 1970

(6-8 octobre)



BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Pavillon de Breteuil, F 92-SÈVRES, France

Dépositaire: OFFILIB, 48 rue Gay-Lussac, F 75-Paris 5

AVERTISSEMENT HISTORIQUE

Le Bureau International des Poids et Mesures 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*, placé lui-même sous l'autorité d'une *Conférence Générale des Poids et Mesures*.

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.

(1) Au 31 décembre 1970, quarante États sont membres de cette Convention : Afrique du Sud, Allemagne, Amérique (É.-U. d'), Argentine (Rép.), Australie, Autriche, Belgique, Brésil, Bulgarie, 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*, créé en 1927.
2. Le *Comité Consultatif de Photométrie*, créé en 1933 (de 1930 à 1933 le Comité précédent s'est occupé des questions de photométrie).
3. Le *Comité Consultatif de Thermométrie*, créé en 1937.
4. Le *Comité Consultatif pour la Définition du Mètre*, créé en 1952.
5. Le *Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde*, créé en 1956.
6. Le *Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants*, créé en 1958.
7. Le *Comité Consultatif des Unités*, 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 1970

Président

1. J. M. OTERO, Président du 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. CINTRA DO PRADO, Professeur à l'Université, 1347 rua Bela Cintra (Apto. 51), *São Paulo* 5, SP.
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, Németvölgyi 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, *Chippendale*, N.S.W. 2008.
10. A. MARÉCHAL, Directeur Général de l'Institut d'Optique, 3 boulevard Pasteur, 75-Paris 15^e.
11. H. PRESTON-THOMAS, Sous-Directeur de la Division de Physique, Conseil National des Recherches, *Ottawa* 7, Ontario.
12. M. SANDOVAL VALLARTA, Membre de la Commission Nationale de l'Énergie Nucléaire, Insurgentes Sur 1079, *Mexico* 18, D.F.
13. K. SIEGBAHN, Directeur de l'Institut de Physique, Box 530, 75 121 *Uppsala* 1.
14. U. STILLE, Président de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 33-*Braunschweig*.
15. J. STULLA-GÖTZ, Ancien Président du Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Gentzgasse 3, 1180-*Vienne* 18.
16. Y. TOMONAGA, Président de la Japan Society for the Promotion of Machine Industry, 1-5, 21 Gochi, Shibakoen, *Tokyo*.
17. Y. VÄISÄLÄ, Professeur à l'Université, Puolalanpuisto 1, *Turku*.
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, 92-*Neuilly-sur-Seine*.
 5. N. A. ESSERMAN, 1 Wallangra Road, *Dover Heights*, N.S.W.
 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*.
-

LISTE DU PERSONNEL

DU

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

AU 1^{er} JANVIER 1971

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, G. Girard.

Techniciens et Calculateurs

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

Mécaniciens

R. Michard, R. Hanocq, G. Boutin, 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 (hors cadre).

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. Nomination de la Commission Administrative.
 3. Rapport du Secrétaire du Comité.
 4. Rapport du Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde. Propositions du Comité International à la Quatorzième Conférence Générale (définition d'une échelle de Temps Atomique International; aide financière au Bureau International de l'Heure).
 5. Rapport du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre.
 6. Rapport du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants, Section I (Rayons X et γ).
 7. Rapport de la Commission préparatoire des Étalons Matériels de Référence.
 8. Système International d'Unités. Propositions du Comité International à la Quatorzième Conférence Générale (mole, siemens, pascal).
 9. Réunions futures des Comités Consultatifs.
 10. Rapport de la Commission Administrative.
 11. Rapport du directeur sur les travaux du Bureau International. Visite des laboratoires.
 12. Dotation financière et programme de travail du Bureau International dans les quatre années 1973-1976. Propositions du Comité International à la Quatorzième Conférence Générale.
 13. Visite du caveau des prototypes.
 14. Questions diverses.
-

59^e SESSION (OCTOBRE 1970)

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

TENUES AU BUREAU INTERNATIONAL

Présidence de Mr J. M. OTERO

La 59^e session du Comité International s'est tenue au Pavillon de Breteuil du mardi 6 au jeudi 8 octobre 1970, au cours de six séances.

Étaient présents: MM. ASTIN, BARRELL, DE BOER, BRANSCOMB, CINTRA DO PRADO ⁽¹⁾, DJAKOV, DUNWORTH, HONTI, ISSAEV, LEHANY, MARÉCHAL ⁽²⁾, OTERO, PRESTON-THOMAS, SIEGBAHN, STILLE, STULLA-GÖTZ, TOMONAGA, TERRIEN (directeur du Bureau International) et GIACOMO (sous-directeur).

Mr VOLET, directeur honoraire du Bureau International, a assisté à la première séance.

Excusés: MM. SANDOVAL VALLARTA, VÄISÄLÄ.

Absent: Mr VERMA.

Secrétaire: Mlle Monprofit.

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

Le *Président* ouvre la session en souhaitant la bienvenue à ses collègues, et en particulier aux membres élus depuis la session précédente: MM. Issaev, Djakov et Stille. Il transmet les excuses reçues de MM. Sandoval Vallarta et Väisälä qui ont été empêchés par des obligations impérieuses ou des raisons de santé. Il constate que le quorum est largement atteint.

L'ordre du jour proposé est ensuite discuté. Sur proposition de Mr Issaev, l'exposé des travaux passés et futurs du Bureau International sera présenté avant que ne soit abordée la question de la dotation financière à demander à la 14^e Conférence Générale des Poids et Mesures. Cela permettra aux membres du Comité International d'avoir une appré-

⁽¹⁾ Mr Cintra do Prado n'a pu assister qu'aux deux dernières séances (jeudi 8 octobre).

⁽²⁾ Mr Maréchal s'était excusé pour la première séance.

ciation plus exacte du programme de travail à envisager pour l'avenir et de justifier ainsi les besoins financiers du Bureau.

Avec ce changement, l'ordre du jour est adopté (p. 10).

2. La *Commission Administrative* est constituée comme suit :

MM. de Boer (président), Cintra do Prado, Djakov, Dunworth, Honti, Siegbahn, Stille, Stulla-Götz.

Selon l'usage, tous les membres du Comité peuvent prendre part aux travaux de cette Commission.

Mr de Boer donne lecture de son rapport.

3. Rapport du Secrétaire du Comité

(8 octobre 1969 — 8 octobre 1970)

1. Membres du Comité International

Démissions. — Mr M. Kersten a donné sa démission par lettre en date du 8 juin 1970 parce qu'il venait de quitter ses fonctions de président de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt.

Mr J. Nussberger s'est également démis de ses fonctions de membre du Comité le 29 mai 1970 pour raison de santé.

Élections. — Un siège était vacant depuis la démission de Mr I. I. Novikov en octobre 1969; il y avait donc trois sièges à pourvoir. A la suite de votes par correspondance à bulletins secrets, trois nouveaux membres ont été cooptés :

Mr B. M. Issaev, vice-président du Comité National des Normes, des Mesures et Instruments de Mesure de l'U.R.S.S., le 25 novembre 1969;

Mr U. Stille, nouveau président de la P.T.B. à Braunschweig, et Mr E. Djakov, directeur de l'Institut d'Électronique à Sofia (Bulgarie), le 3 septembre 1970.

2. *Accord de siège.* — L'accord de siège, qui avait été signé le 25 avril 1969 par le représentant du Ministère des Affaires Étrangères de France et par le Président du Comité International, a été approuvé en Conseil d'État et ratifié par un vote du Parlement (loi du 5 juin 1970, Journal Officiel de la République Française du 7 juin 1970). Le texte intégral de cet accord de siège est publié au Journal Officiel du 18 septembre 1970, p. 8719; il est reproduit dans le présent volume à l'Annexe 1, p. 125. Cet accord est entré en vigueur le 24 juillet 1970.

3. *Réunions de Comités Consultatifs.* — La Section I (Rayons X et γ) du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants s'est réunie les 1^{er}, 2 et 3 avril 1970, sous la présidence de Mr W. A. Jennings.

Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde a tenu sa 5^e session les 18 et 19 juin 1970, sous la présidence de Mr J. V. Dunworth.

Le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre a tenu sa 4^e session les 14, 15 et 16 septembre 1970, sous la présidence de Mr J. M. Otero.

Ces trois réunions ont eu lieu au Pavillon de Breteuil.

4. *Bureau du Comité International.* — Depuis la session d'octobre 1969 du Comité, le Président, le Vice-président, le Secrétaire du Comité International, et le Directeur du Bureau International, ont poursuivi l'étude des relations entre le Comité International et le Bureau International de l'Heure, l'étude du projet d'un programme international concernant les étalons matériels de référence (avec la Commission préparatoire) et la préparation de la 14^e Conférence Générale des Poids et Mesures qui sera convoquée le 5 octobre 1971.

5. *Publication d'une brochure sur le Système International d'Unités.* — Le Bureau International publiera à la fin de 1970 une brochure sur le Système International d'Unités. Dans cette brochure, en préparation depuis 1968, se trouve rassemblé, dans un ordre systématique, le contenu des Résolutions et Recommandations de la Conférence Générale et du Comité International des Poids et Mesures concernant le Système International d'Unités, avec des commentaires explicatifs et deux Annexes.

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

| | 1967 | 1968 | 1969 | 1970 |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Fonds ordinaires | 786 956,47 | 859 345,03 | 1 339 611,32 | 1 509 404,64 |
| Caisse de Retraites | 98 945,53 | 144 860,36 | 188 335,92 | 249 714,20 |
| 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) | 538 636,79 | 361 449,64 | — | — |
| Totaux | 1 433 202,38 | 1 374 318,62 | 1 536 610,83 | 1 767 782,43 |

Sur le dernier point de ce rapport, Mr *Terrien* remarque que les réserves de trésorerie du Bureau International ne couvrent que huit mois de fonctionnement, ce qui ne lui paraît pas suffisant. A titre d'indication il signale que le règlement de l'U.N.E.S.C.O. prescrit un fonds de roulement permettant un an de fonctionnement.

Le rapport est approuvé à l'unanimité sans autre commentaire.

4. Rapport du Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (C.C.D.S.) Relations avec le Bureau International de l'Heure

Mr *Dunworth* présente le rapport de la 5^e session du C.C.D.S. qui s'est tenue en juin 1970 sous sa présidence (p. 99). Il souligne tout d'abord la différence qui existe entre « intervalle de temps » (ou « fréquence ») et « échelle de temps ». Les problèmes relatifs à l'intervalle de temps sont dans les attributions du C.C.D.S.; en revanche, ceux qui concernent l'échelle de temps sont traditionnellement étudiés par plusieurs autres organisations.

L'une de ces organisations, l'Union Radioscopique Internationale (U.R.S.I.), a cependant recommandé, à sa XVI^e Assemblée Générale (Ottawa, 1969), que soit établie une échelle de temps atomique et que la Conférence Générale des Poids et Mesures traite cette question. De même, dans un vœu émis à sa 12^e Assemblée Plénière (New Delhi, 1970), le Comité Consultatif International des Radiocommunications (C.C.I.R.) a reconnu que la meilleure façon d'introduire une échelle de temps atomique dans les pays signataires de la Convention du Mètre serait d'en soumettre la définition à la Conférence Générale.

Il semble donc qu'il existe un désir général de voir la Conférence Générale prendre une initiative dans le domaine de l'échelle de temps, et non plus seulement de l'intervalle de temps. Il appartient au Comité International de tenir compte de ce désir et d'œuvrer dans ce sens avec les autres organisations.

Le Bureau International de l'Heure (B.I.H.) s'occupe essentiellement du temps astronomique. Il semble convenable qu'il s'occupe également du temps atomique, ce qu'il fait en réalité depuis quelques années. Le B.I.H. reçoit des fonds de plusieurs provenances, mais les moyens matériels mis

à sa disposition proviennent en majeure partie de la générosité de l'Observatoire de Paris et de quelques organismes nationaux, notamment d'Amérique du Nord, surtout pour ce qui concerne le temps atomique.

Il serait fort coûteux pour le B.I.P.M. de tenter de mettre sur pied une installation complète pour conserver le temps atomique. Il semble plus sage au C.C.D.S. de tenir compte de ce qui est déjà fait au B.I.H., puisque celui-ci est désireux de continuer son action dans ce domaine. Toutefois le B.I.H. aurait besoin de l'aide financière que le B.I.P.M. pourrait lui apporter.

Le C.C.D.S. est conscient du fait qu'il subsiste encore quelques incertitudes dans l'établissement du Temps Atomique International (TAI). Ces incertitudes ont en particulier trait au poids qu'il faut attribuer aux indications fournies par les diverses horloges utilisées, aux questions soulevées par la relativité, à la relation entre les indications des horloges et la définition de la seconde, etc. Toutes ces questions sont complexes. Le C.C.D.S. pense que la définition du TAI devrait réserver la possibilité de tenir compte de l'évolution future et des solutions qui seront apportées aux problèmes qui subsistent aujourd'hui. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle le C.C.D.S. a formulé ses recommandations en termes généraux (p. 110), les indications plus précises étant données dans le paragraphe « Mise en pratique du Temps Atomique International ».

Le C.C.D.S. estime enfin qu'un crédit annuel de 12 000 dollars U.S. devrait être mis à la disposition du B.I.H. par le Comité International pendant les quatre années 1973-1976.

Il appartient au Comité International de prendre une décision sur la façon de présenter à la 14^e Conférence Générale cette double question de la mise en œuvre d'une échelle de Temps Atomique International et de l'aide financière à apporter au B.I.H.

Mr *Terrien* rappelle que le C.C.D.S., ainsi que le Comité International à sa session de 1969, ont exprimé le désir de voir un membre de notre organisation siéger de plein droit au comité de direction du B.I.H. La Fédération des Services permanents d'Astronomie et de Géophysique (F.A.G.S.), dont le B.I.H. fait partie, a accepté cette demande en septembre 1970. Mr *de Boer* considère que la présence d'un représentant de notre organisation dans le comité de direction du B.I.H. donne la possibilité d'un contrôle des activités du B.I.H. Il remarque aussi que le B.I.H. est placé sous les auspices du Conseil International des Unions Scientifiques (I.C.S.U.) qui est un organisme reconnu et subventionné par les Gouvernements.

Après cette présentation, la discussion est ouverte sur le rapport du C.C.D.S.

Le *Président* remarque que le Comité International ne peut aborder la discussion sur l'échelle de TAI de la même façon qu'il le fait pour l'unité de longueur. Si, pour l'unité de longueur, le Comité International est seul responsable, il n'en est pas de même pour l'échelle de TAI. En outre,

l'aspect financier du problème soulève la question du financement d'un travail qui n'est pas fait sous notre seule responsabilité.

Mr *Dunworth* rappelle qu'il subsiste des incertitudes qui gênent quelque peu l'établissement d'une échelle de TAI; il serait donc souhaitable que l'action entreprise par le B.I.H. soit continuée jusque vers 1975. L'aide financière que le B.I.P.M. apporterait au B.I.H. durant cette période serait une façon économique d'attendre l'évolution qui pourra se produire. A cette échéance il y aura lieu de voir s'il convient de renouveler un accord entre le B.I.P.M. et le B.I.H., ou si le B.I.P.M. est en mesure de conserver le TAI. Dans ce dernier cas, le B.I.P.M. pourrait alors travailler à la lumière de l'expérience acquise.

A une question de Mr *Stille*, il est répondu que le B.I.H. ne compte pas uniquement sur l'aide du B.I.P.M., mais également sur celle des grands laboratoires nationaux qui sont équipés pour étudier les questions relatives au temps atomique. Le B.I.H. ne sera pas exclusivement dépendant du B.I.P.M.

En principe l'aide des laboratoires nationaux serait sans doute suffisante, mais il faut un centre international chargé de ce problème. Si ce n'était pas le B.I.H., le B.I.P.M. devrait alors assurer seul cette charge et, dans ce cas, cela demanderait un financement beaucoup plus important. C'est pourquoi il semble raisonnable d'accepter l'offre du directeur du B.I.H. qui propose que son laboratoire continue son action.

Mr *de Boer* remarque qu'il ne faut pas seulement considérer l'aspect financier. Si l'on envisage de laisser la garde du TAI au B.I.H. ce n'est pas seulement parce que cette solution semble moins onéreuse, mais surtout parce que le B.I.H. a déjà prouvé qu'il est capable d'assurer cette tâche avec efficacité.

Mr *Lehany* donne son approbation pour une aide du B.I.P.M. au B.I.H., comme étant la façon la plus économique d'assurer et de propager une échelle de TAI. L'opinion générale du C.C.D.S. est que, pour le moment, il ne faut pas séparer le temps astronomique et le temps atomique. C'est donc une raison de plus de confier cette tâche au B.I.H.

Mr *Issaev* approuve le projet d'échelle de TAI tel qu'il est exposé dans le rapport du C.C.D.S. Il insiste sur la liaison à maintenir entre cette échelle et le temps astronomique universel. C'est un aspect important pour l'U.R.S.S. dont le territoire est très vaste. La concentration des travaux concernant la conservation du temps au sein du B.I.H. lui semble appropriée; il serait anormal de négliger l'expérience acquise par le B.I.H.

Pour ce qui est de l'aspect financier, Mr *Issaev* pense qu'il serait plus convenable de l'envisager en même temps que le programme de travail et les dotations annuelles du Bureau International pour les années à venir.

Mr *Stille* fait remarquer que le financement du B.I.H. (sous les auspices de l'I.C.S.U.) et celui du B.I.P.M. ne dépendent pas du même ministère en Allemagne. Une dissociation des postes dans le budget à

demander à la Conférence Générale compliquerait la tâche; les juristes risquent de ne pas être sensibles à nos arguments scientifiques et de ne pas comprendre les avantages de la proposition du Comité International.

Mr *Honti* appuie fortement ce souci de la présentation du problème devant les juristes.

La suite de la discussion, dans laquelle interviennent notamment MM. *Djakov*, *Stille* et *Stulla-Götz*, fait apparaître un accord général sur les recommandations du C.C.D.S. et conduit aux conclusions suivantes concernant l'aspect financier.

Il convient de considérer les sommes versées au B.I.H. comme la rétribution d'un travail effectué en dehors du Bureau International. Les moyens financiers doivent être donnés au B.I.P.M. en même temps qu'on lui demande d'assurer l'établissement d'une échelle de TAI; la façon dont le Bureau International utilise ces crédits est uniquement une question interne au Bureau International.

Deux projets de résolutions à soumettre à la 14^e Conférence Générale sont discutés dans le détail. La discussion prolongée aboutit finalement à l'adoption des projets de résolutions suivants :

Projet de résolution A

Rôle du C.I.P.M. concernant le Temps Atomique International

La Quatorzième Conférence Générale des Poids et Mesures,

considérant

que la seconde, unité de temps du Système International d'Unités, est définie depuis 1967 d'après une fréquence atomique naturelle, et non plus d'après des échelles de temps fournies par des mouvements astronomiques,

que le besoin d'une échelle de Temps Atomique International (TAI) est une conséquence de la définition atomique de la seconde,

que plusieurs organisations internationales ont assuré et assurent encore avec succès l'établissement des échelles de temps fondées sur des mouvements astronomiques, particulièrement grâce aux services permanents du Bureau International de l'Heure (B.I.H.),

que le Bureau International de l'Heure a commencé à établir une échelle de temps atomique dont les qualités sont reconnues et qui a prouvé son utilité,

que les étalons atomiques de fréquence servant à la réalisation de la seconde ont été considérés et doivent continuer de l'être par le Comité International des Poids et Mesures assisté d'un Comité Consultatif, et que l'intervalle unitaire de l'échelle de Temps Atomique International doit être la seconde réalisée conformément à sa définition atomique,

que toutes les organisations scientifiques internationales compétentes et les laboratoires nationaux actifs dans ce domaine ont exprimé le désir que le Comité International et la Conférence Générale des Poids et Mesures donnent une définition du Temps Atomique International, et contribuent à l'établissement de l'échelle de Temps Atomique International,

que l'utilité du Temps Atomique International nécessite une coordination étroite avec les échelles de temps fondées sur des mouvements astronomiques,

demande au Comité International des Poids et Mesures

1^o de donner une définition du Temps Atomique International;

2^o de prendre les mesures nécessaires, en accord avec les organisations internationales intéressées, pour que les compétences scientifiques et les moyens

d'action existants soient utilisés au mieux pour la réalisation de l'échelle de Temps Atomique International, et pour que soient satisfaits les besoins des utilisateurs du Temps Atomique International.

Projet de résolution B

Arrangements avec le B.I.H.
concernant le Temps Atomique International

La Quatorzième Conférence Générale des Poids et Mesures,

considérant

qu'une échelle de Temps Atomique International doit être mise à la disposition des utilisateurs,

que le Bureau International de l'Heure a prouvé qu'il est capable d'assurer ce service,

rend hommage au Bureau International de l'Heure pour l'œuvre qu'il a déjà accomplie;

demande aux institutions nationales et internationales de bien vouloir continuer, et si possible augmenter, l'aide qu'elles donnent au Bureau International de l'Heure, pour le bien de la communauté scientifique et technique internationale;

autorise le Comité International des Poids et Mesures à conclure avec le Bureau International de l'Heure les arrangements nécessaires pour la réalisation de l'échelle de Temps Atomique International à définir par le Comité International.

**5. Rapport du Comité Consultatif
pour la Définition du Mètre (C.C.D.M.)**

Le C.C.D.M. a tenu sa 4^e session du 14 au 16 septembre 1970. Le rapport définitif de cette session (p. 113) n'ayant pu être prêt à temps pour la présente session du Comité International, Mr *Otero*, président du C.C.D.M., se borne à présenter les conclusions auxquelles ce Comité Consultatif est parvenu.

Mr *Stille* ne pense pas que dans la Recommandation M 1 (1970) il soit nécessaire de mentionner la dissymétrie du profil spectral; il préférerait dire « ... pour étudier le profil spectral ... » Une brève discussion s'engage à ce propos. Le Comité International n'estime pas devoir changer les termes d'une recommandation établie sous la responsabilité du C.C.D.M. pour son information; d'ailleurs la dissymétrie n'est citée qu'à titre d'exemple particulièrement important.

Le Comité International approuve finalement les conclusions de la 4^e session du C.C.D.M.

**6. Rapport de la Section I du Comité Consultatif
pour les Étalons de Mesure
des Rayonnements Ionisants (C.C.E.M.R.I.)**

Mr *Siegbahn* présente le rapport (p. 91) de la Section I (Mesure des rayons X et γ) du C.C.E.M.R.I. qui s'est réunie du 1^{er} au 3 avril 1970. Ce rapport ne soulève aucun commentaire particulier.

7. Commission préparatoire des Étalons Matériels de Référence (EMR)

Mr *Dunworth*, président de cette Commission préparatoire constituée à la précédente session du Comité International, expose que si la tâche du Bureau International est assez claire au sujet des échelles de temps, il n'en est pas de même pour les étalons matériels de référence, question plus complexe.

A l'heure actuelle, le Bureau International n'a pas les moyens financiers pour assurer une activité valable dans ce domaine et il conviendrait de présenter la situation devant la Conférence Générale.

Certains EMR sont en relation étroite avec les étalons dont s'occupe le Bureau International; c'est le cas par exemple dans le domaine des températures. En dehors des matériaux qui interviennent directement dans la réalisation de tels étalons on aborde un domaine d'action qui peut être très étendu. Il ne semble pas concevable que le Bureau International ait un laboratoire pouvant faire des analyses chimiques sur une telle échelle; son activité devrait, de toute façon, se limiter à un rôle d'information dont la définition et les limites sont elles-mêmes difficiles à préciser. Peut-être les représentants de quelques pays qui ont déjà abordé le problème pourraient-ils étudier la question?

Mr *Branscomb* insiste sur le besoin urgent d'une coordination parce que 1° la question est importante du point de vue métrologique et 2° le travail nécessaire à l'établissement des EMR est onéreux. Il serait regrettable que les pays fassent chacun de leur côté des efforts financiers importants sur un même problème. Il est bien évident que le Bureau International ne peut établir un laboratoire d'analyse, mais il pourrait coordonner les travaux effectués dans différents pays. Il n'est pas question que le Bureau International établisse des certificats pour les EMR comme il le fait pour les étalons fondamentaux. Ce travail d'étalonnage pourrait être effectué dans les laboratoires nationaux. Il convient d'envisager un début modeste qui ne nécessiterait que peu de moyens financiers et peu de personnel, en profitant de l'audience particulière du Bureau International que n'ont pas les autres organismes internationaux.

Mr *Astin* estime que la nécessité des EMR n'est pas essentiellement différente de la nécessité des étalons fondamentaux. On utilise de plus en plus les constantes physiques pour définir les unités, ce qui augmente l'importance des EMR pour les mesures pratiques. Il serait souhaitable de faire des comparaisons circulaires d'EMR pour obtenir l'accord des laboratoires nationaux; or l'organisation de comparaisons circulaires est une fonction du Bureau International; il joue déjà ce rôle pour les mesures électriques aux radiofréquences et pour certains radionucléides par exemple. On pourrait donc proposer à la Conférence Générale d'autoriser cette activité et d'octroyer les crédits nécessaires, comme cela a été fait dans le passé pour les rayonnements ionisants.

Mr *Preston-Thomas* souligne l'importance des EMR pour les matériaux employés dans les mesures de température. Il précise qu'il existe déjà une très bonne collaboration entre quelques pays. Dans ce domaine, un arrangement officiel ne semblerait pas devoir apporter une amélioration. Il propose que le Comité Consultatif de Thermométrie, dont il est le président, fasse un rapport sur les progrès des études des EMR qui intéressent ce Comité Consultatif.

Mr *Stille* pense que, même si l'on s'en tient seulement aux matériaux nécessaires pour réaliser les unités fondamentales, le problème des EMR est important. Nous devons de plus essayer de prévoir ce que sera le développement ultérieur des recherches, en particulier l'emploi des constantes fondamentales pour la réalisation des unités de base.

Mr *Dunworth* remarque que les Comités Consultatifs ont, chacun dans leur domaine, besoin d'EMR. Il apparaîtrait donc judicieux que chaque Comité Consultatif considère les questions relatives aux EMR se rapportant à son domaine d'activité.

Malheureusement, tous les Comités Consultatifs ne se réuniront pas avant 1971 et 1972, alors que le Comité International devrait soumettre le problème des EMR devant la 14^e Conférence Générale en octobre 1971.

Mr *Dunworth* pose la question : Est-il vraiment dans les attributions du Bureau International de s'occuper des EMR en général, ou devrait-il s'occuper uniquement des matériaux qui intéressent la métrologie de base qui nous concerne actuellement, ce qui est déjà de la compétence des Comités Consultatifs existants?

Mr *Issaev* considère que le Bureau International doit en effet consacrer une partie de son temps à ce travail. La première chose est de poser le principe de la limitation du champ d'action dans ce domaine. Il se rallie à l'opinion de Mr *Dunworth* pour confier la question des EMR à chaque Comité Consultatif pour les matériaux qui les intéressent, sachant qu'au sein même des Comités Consultatifs on trouve les experts nécessaires. Il serait également partisan de comparaisons circulaires entre les laboratoires nationaux. Il ne lui semble pas que pour l'instant le Comité International soit suffisamment prêt pour porter la question devant la Conférence Générale.

Peut-être serait-il intéressant également de voir quel pourrait être le rôle de l'Organisation Internationale de Métrologie Légale en la matière. L'O.I.M.L. met au point un grand nombre de recommandations internationales relatives à des objets concrets. Cette Organisation pourrait aussi être utile dans le domaine des EMR.

Mr *Stille* estime qu'il est normal que les Comités Consultatifs soient les premiers consultés. Mais il est difficile de voir la façon dont le problème doit être présenté à la Conférence Générale.

Le *Président* rappelle qu'il est nécessaire de présenter à la Conférence Générale un rapport soulignant l'importance des EMR dans la métrologie

actuelle. On y fera la distinction entre les EMR qui sont en relation directe avec les étalons des grandeurs de base du SI, et tous les autres EMR.

En conclusion de cette discussion, il est décidé que Mr Giacomo rédigera et diffusera un rapport sur les réponses déjà reçues au questionnaire adressé il y a quelques mois à un grand nombre de laboratoires ou de services nationaux susceptibles d'être intéressés par les EMR, et que les Comités Consultatifs seront consultés prochainement par correspondance. Le bureau du Comité se chargera ensuite de rédiger un rapport pour la 14^e Conférence Générale.

8. Système International d'Unités : propositions à la 14^e Conférence Générale

Mr *de Boer*, président du Comité Consultatif des Unités (C.C.U.), donne lecture de la Recommandation U 1 (1969) (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 37, 1969, p. 116) contenant un projet de résolution sur la *mole* à soumettre à la 14^e Conférence Générale.

Pour Mr *Issaev* la question de la mole est une question assez ancienne. Cela fait plusieurs années qu'il y a des échanges de vue sur l'introduction de la mole parmi les unités de base. Il ne voit pas les raisons pour lesquelles la mole doit être introduite parmi les unités de base. Aussi, on peut se demander si cette unité peut être matérialisée. En U.R.S.S., la mole est considérée généralement comme une unité supplémentaire.

Mr *de Boer* remarque que la mole a un étalon, c'est l'ensemble des atomes contenus dans 0,012 kilogramme de carbone 12. Il n'y a pas de différence avec une autre unité de base à cet égard. Le choix entre classer parmi les unités de base ou parmi les unités supplémentaires est une affaire de spécialistes. Or le C.C.U. déclare que la mole est sans aucun doute une unité de base. Mr *de Boer* ajoute que des organisations internationales compétentes, comme par exemple l'U.I.P.P.A., ont recommandé l'introduction de la mole comme unité de base. Ces organisations réunissent des spécialistes de tous les pays du monde, y compris des physiciens de l'U.R.S.S. La situation est la même à l'U.I.C.P.A. et à l'I.S.O.

Mr *Terrien* indique qu'il a assisté à l'Assemblée Générale de l'U.I.C.P.A. à Cortina d'Ampezzo en juillet 1969. Il était présent à toutes les délibérations du comité spécialisé et il a pu constater que les chimistes attachent une grande importance à ce que la mole soit classée parmi les unités de base, ce qui favoriserait l'extension du SI en chimie et en technologie chimique. Une recommandation pressante a été adoptée par le Conseil de l'U.I.C.P.A. demandant que la mole soit reconnue comme une unité de base. Nous nous trouvons devant des recommandations d'organismes spécialisés et nous devons tenir compte de leur avis.

Une discussion s'engage alors sur la notion d'unité de base et d'unité

fondamentale. Mr *Dunworth* rappelle qu'il n'est pas entièrement satisfait de la situation actuelle des unités de base du SI. Il fait une différence entre unité de base et unité fondamentale. Toutefois il ne s'oppose pas à l'introduction de la mole parmi les unités de base, si les chimistes en voient la nécessité.

Mr *Branscomb* indique que d'après une étude qu'il a demandée au directeur de l'Institute of Basic Standards du N.B.S., les unités de base ne sont pas forcément des unités fondamentales. Elles sont simplement commodes et permettent de faire progresser les sciences. Dans cet esprit il est favorable à l'introduction de la mole parmi les unités de base. Ce n'est pas une question « philosophique » dit-il, c'est une question d'utilité pratique.

Mr *Stulla-Götz* rappelle qu'il a fait parvenir aux membres du Comité une note du Dr F. Rotter sur la classification des unités SI en unités de base, unités supplémentaires et unités dérivées ⁽³⁾. Cette étude prend ses arguments dans le contenu physique de la définition des unités; elle conclut logiquement au bien-fondé de la classification des unités SI et constate que la mole a bien les caractéristiques d'une unité de base.

Mr *Dunworth* signale que la traduction anglaise de la brochure sur le SI publiée par le Bureau International, traduction effectuée conjointement par le N.P.L. et le N.B.S., sera accompagnée d'une note attirant l'attention sur la signification de l'expression « unité de base ».

A une question générale de Mr *Siegbahn* au sujet de la traduction de cette brochure sur le SI, il est répondu qu'il n'y a aucun problème de droits de reproduction réservés et que, par conséquent, cette brochure peut être traduite en toute langue sans autorisation spéciale en mentionnant toutefois son origine.

Mr *de Boer* rappelle ensuite les raisons pour lesquelles le Comité International, sur avis du C.C.U., demandera à la Conférence Générale d'adopter les noms *pascal* et *siemens* comme noms spéciaux respectifs des unités SI de pression (N/m^2) et de conductance (Ω^{-1}). Dans le cas du pascal cette approbation devrait permettre d'éliminer le bar qui n'est pas une unité SI. Quant au siemens, il y a longtemps que ce nom a été adopté par la Commission Electrotechnique Internationale, ainsi que par l'I.S.O. Il est donc nécessaire que la Conférence Générale prenne une position officielle sur ces deux noms.

Mr *Branscomb*, tout en acceptant d'appuyer cette demande, souhaite qu'à l'avenir on évite d'introduire dans le SI d'autres noms spéciaux pour les unités dérivées. Mr *Astin* pense également que les noms spéciaux affaiblissent la valeur du SI.

Mr *de Boer* précise que cette question a été discutée longuement par le C.C.U. en 1967 et en 1969; c'est essentiellement une affaire de commo-

⁽³⁾ *Bull. Organisation Internat. Métrologie Légale*, N° 38, mars 1970, p. 7.

dité. En principe, le C.C.U. est entièrement d'accord avec les remarques de MM. Branscomb et Astin. Mais dans ce cas particulier, il n'est pas très pratique d'utiliser l'expression « newton par mètre carré ». Une autre opinion tendait à permettre l'emploi de l'abréviation SI en remplacement du nom complet ou du symbole des unités SI composées, mais cette proposition n'a pas été accueillie favorablement au C.C.U. et à l'I.S.O.

9. Réunions futures des Comités Consultatifs

Le *Comité Consultatif pour la Définition du Mètre*, qui vient de tenir sa 4^e session en septembre 1970, n'envisage pas de se réunir avant deux ou trois ans.

Pour le *Comité Consultatif d'Électricité* il avait été envisagé une réunion en 1971, mais son président, Mr *Lehany*, pense qu'il vaudrait mieux l'ajourner à 1972. En effet, en 1968, des changements importants ont été apportés aux valeurs des « unités » électriques des laboratoires nationaux de façon à les rapprocher le plus possible des valeurs absolues. Des études en cours permettent d'autre part d'envisager des progrès marqués sur les techniques anciennes, en particulier par l'emploi de l'effet Josephson pour maintenir le volt; trois laboratoires ont déjà obtenu des résultats provisoires en bon accord. Des travaux se poursuivent aussi pour la détermination absolue de l'ampère. Enfin, les comparaisons circulaires dans le domaine des radiofréquences ne progressent que lentement.

Pour toutes ces raisons, Mr *Lehany* propose que le C.C.E. se réunisse en septembre 1972.

Le *Comité Consultatif de Photométrie* se réunira du 1^{er} au 3 septembre 1971.

Mr *Terrien* indique que presque à la même époque aura lieu à Barcelone la 17^e session de la Commission Internationale de l'Éclairage et que certains participants à cette session de la C.I.E., également membres du C.C.P., souhaiteraient que le C.C.P. se réunisse aussi à Barcelone.

Le Comité International estime préférable, conformément à la tradition et à la logique, que le Comité Consultatif de Photométrie se réunisse au centre international qu'est le Pavillon de Breteuil. Il décide à l'unanimité que la prochaine session du C.C.P. aura lieu à Sèvres.

Le *Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants* est maintenant, ainsi que l'a décidé le Comité International en 1969, divisé en quatre sections. La Section I (Mesure des rayons X et γ) s'est réunie en avril 1970, et la Section II (Mesure des radionucléides) se réunira en octobre 1970. La Section III (Mesures neutroniques) se réunira probablement en 1972, et la Section IV (Étalons d'énergie α) en 1971 (4).

Mr *Siegbahn* indique qu'il faudra peut-être changer le nom de la

(4) *Note ajoutée aux épreuves.* — La réunion de la Section IV, prévue du 26 au 28 mai 1971, a été reportée à une date ultérieure.

Section I pour tenir compte de l'inclusion des mesures de faisceaux d'électrons dans les attributions de cette Section.

Au sujet des activités du C.C.E.M.R.I., Mr *Terrien* signale que le Bureau International a reçu une lettre de l'I.C.R.U. demandant si ce Comité Consultatif pourrait s'occuper d'un domaine assez nouveau et important, celui de la dosimétrie des faisceaux de neutrons utilisés en thérapie. Avant de se prononcer, le Comité International charge Mr *Siegbahn* de faire une étude préalable.

La 9^e session du *Comité Consultatif de Thermométrie* est prévue du 6 au 8 juillet 1971 au Pavillon de Breteuil, peu après le Symposium sur la Température qui doit se tenir à Washington en juin 1971.

Le *Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde* se réunira après la 14^e Conférence Générale des Poids et Mesures, peut-être en mai 1972.

Le *Comité Consultatif des Unités* se réunira probablement en 1971 ⁽⁵⁾.

10. Commission Administrative

Mr *Terrien* donne un bref compte rendu verbal des délibérations de la Commission Administrative à laquelle tous les membres présents à cette session du Comité ont assisté.

1. *Rapport du Directeur*. — Personnel : Comme prévu, un physicien (V. D. Huynh) en stage au Bureau depuis quelques années a été engagé pour remplacer le physicien principal chargé des mesures neutroniques qui avait pris sa retraite en juin 1969. Deux techniciens (R. Czerwonka et J. Milobedzki) ont quitté volontairement le Bureau. Une technicienne (Mme J. Coarasa) a été engagée. L'engagement de deux ou trois physiciens et d'un technicien est envisagé.

2. *Caisse de Retraites*. — Le cas particulier, laissé en suspens à la précédente session, d'un fonctionnaire employé maintenant à mi-temps, a été tranché par le bureau du Comité selon les indications d'un actuaire.

Dans le Règlement adopté en 1968, l'Article 13 spécifiait : « Le présent Règlement a pris effet le 1^{er} janvier 1967; toutefois le montant des pensions des fonctionnaires partis à la retraite antérieurement au 1^{er} janvier 1969 ne sera pas révisé ».

La Commission, sur proposition du bureau du Comité, approuve la suppression de la dernière phrase « toutefois ... révisé », qui est contraire aux usages antérieurs du Bureau; cette suppression permettra de revaloriser les pensions comme cela se pratique couramment.

3. *Exercice 1969*. — Après examen du rapport de l'expert-comptable pour cet exercice, la Commission recommande que le Comité approuve les comptes pour 1969 et donne quitus au directeur et à l'administrateur.

4. *Traitements du personnel*. — A sa précédente session, le Comité International avait donné pouvoir à son bureau pour décider sur la proposition du relèvement de la grille des traitements; le bureau du Comité, après nouvel examen des documents présentés par le directeur, a approuvé ce relèvement.

Dans le personnel classé « adjoint », la Commission approuve un avancement proposé par le directeur, et la ligne de conduite générale en ce qui concerne quelques avancements dans le reste du personnel.

5. *Budget de 1970*. — Le directeur explique les raisons qui ont conduit à dépasser sensiblement les dépenses prévues au budget pour les bâtiments et les voyages. Le

⁽⁵⁾ Note ajoutée aux épreuves. La 3^e session du Comité Consultatif des Unités a été fixée aux 23 et 24 août 1971.

bureau du Comité est déjà bien informé de ces dépassements, qui sont compensés par des économies sur d'autres chapitres.

6. *Budget de 1971.* — Un projet de budget pour l'année 1971 est proposé au Comité par la Commission.

7. *Accord de siège.* — La mise en vigueur de l'accord de siège, déjà annoncée dans le rapport du Secrétaire du Comité (p. 12), rendra plus certaines les exonérations ou remboursements de diverses taxes dont le Bureau bénéficie déjà, et facilitera les importations de matériel scientifique.

Le Comité International approuve la totalité des propositions de la Commission Administrative. En particulier, il donne quitus au directeur et à l'administrateur pour la gestion financière de l'exercice 1969; il décide de supprimer la dernière phrase de l'Article 13 de la Caisse de Retraites, approuve l'avancement d'un adjoint et il adopte le budget pour 1971.

Budget pour 1971

| RECETTES | | francs-or |
|---|--|------------------|
| Contributions des États | | 2 620 000 |
| Intérêts des fonds | | 35 000 |
| Taxes de vérification | | 5 000 |
| Remboursements des taxes sur les achats | | 135 000 |
| Total | | <u>2 795 000</u> |

| DÉPENSES | | francs-or |
|--|-----------|------------------|
| <i>A. Dépenses de personnel :</i> | | |
| 1. Traitements | 1 200 000 | } 1 455 000 |
| 2. Allocations familiales | 66 000 | |
| 3. Sécurité Sociale | 58 000 | |
| 4. Assurance-accidents | 11 000 | |
| 5. Caisse de Retraites | 120 000 | |
| <i>B. Dépenses de fonctionnement :</i> | | |
| 1. Bâtiments (entretien) | 230 000 | } 767 000 |
| 2. Mobilier | 5 000 | |
| 3. Laboratoires et ateliers | 310 000 | |
| 4. Chauffage, eau, énergie électrique | 90 000 | |
| 5. Assurances | 5 000 | |
| 6. Impressions et publications | 35 000 | |
| 7. Frais de bureau | 40 000 | |
| 8. Voyages | 40 000 | |
| 9. Bureau du Comité | 12 000 | |
| <i>C. Dépenses d'investissement :</i> | | |
| 1. Laboratoires | 300 000 | } 353 000 |
| 2. Atelier de mécanique | 20 000 | |
| 3. Atelier d'électronique | 15 000 | |
| 4. Bibliothèque | 18 000 | |
| D. <i>Frais divers et imprévus</i> | | 130 000 |
| E. <i>Utilisation de monnaies non convertibles</i> | | 90 000 |
| Total | | <u>2 795 000</u> |

11. Rapport du directeur et travaux du Bureau International

En présentant son rapport (p. 31) Mr *Terrien* attire l'attention du Comité sur les quelques pages finales qui ont trait aux publications, aux relations avec les autres organismes internationaux et aux voyages et visites. L'importance donnée aux voyages du personnel se justifie afin d'assurer une excellente liaison avec et entre les laboratoires nationaux, en particulier les laboratoires des petits pays qui attendent beaucoup du Bureau International. Cette augmentation du nombre des voyages et des relations internationales évite les malentendus, les pertes de temps et favorise donc la coordination de la métrologie mondiale.

Sur l'invitation du Président, Mr Giacomo résume l'essentiel des travaux mentionnés dans ce rapport qui a été adressé aux membres du Comité en août 1970. Quelques points particuliers font l'objet de brefs exposés par des membres du personnel du Bureau qui sont amenés à répondre à plusieurs questions.

Le *Président* constate que les membres du Comité ont pu apprécier la haute qualité scientifique des travaux effectués par le personnel du Bureau International. Il adresse, au nom du Comité, des félicitations au personnel pour les excellents résultats de ces travaux.

12. Dotation du Bureau International

Mr *Terrien* rappelle qu'environ un an avant la réunion d'une Conférence Générale, le Comité International envoie aux Gouvernements une convocation comprenant un ordre du jour et quelques commentaires sur les points portés à cet ordre du jour. Depuis quelques années, un document annexe multicopié est également envoyé afin de fournir aux États membres de la Convention du Mètre des détails sur le programme de travail du Bureau International pour une période de quatre années. En vue de la Conférence Générale d'octobre 1971, il appartient donc au Comité International de proposer un programme de travail pour les années 1973 à 1976 et de demander les moyens financiers nécessaires, c'est-à-dire la dotation du Bureau International.

En 1967-1968, la 13^e Conférence Générale avait voté une augmentation annuelle de 14 % de la dotation : 9 % pour maintenir le fonctionnement du Bureau International à un niveau constant (c'est-à-dire sans aucune extension des activités et sans amélioration fondamentale des techniques déjà en usage au Bureau) et 5 % pour son développement.

Il semble donc prudent d'envisager pour les années 1973 à 1976 une augmentation annuelle de la dotation de 11 à 12 %, à savoir 9 % pour maintenir un niveau constant et 2 à 3 % pour continuer à progresser. C'est sur cette base que le directeur du Bureau avait préparé les documents soumis à l'examen du Comité International. Il ressort toutefois

de la discussion du point 4 qu'il convient d'inclure encore dans le budget normal du Bureau International les sommes qui seront consacrées à l'établissement et au maintien de l'échelle de Temps Atomique International. Compte tenu de cette adjonction, les dotations annuelles proposées sont les suivantes :

| | | |
|------|-----------|-----------|
| 1973 | 3 340 000 | francs-or |
| 1974 | 3 740 000 | |
| 1975 | 4 180 000 | |
| 1976 | 4 660 000 | |

soit une augmentation annuelle de 11,8 %, dont 9 % pour un niveau constant et 2,8 % pour le développement du Bureau International, y compris la somme que le Comité International pourrait contractuellement verser au Bureau International de l'Heure en règlement des services rendus dans le cadre de la réalisation de l'échelle de Temps Atomique International.

Mr *Issaev* regrette de n'avoir pas eu le temps d'étudier suffisamment en détail le programme de travail du Bureau International pour les années futures. Il ne peut donc se prononcer sur les dotations demandées, d'autant plus qu'il n'a pas eu la possibilité de consulter les responsables financiers de son pays.

Mr *Dunworth* attire l'attention sur une idée directrice qui a été exprimée antérieurement à maintes reprises. Un organisme exclusivement bureaucratique ne serait en aucune façon aussi efficace que peut l'être le Bureau International, où se trouvent d'excellents physiciens qui font du bon travail. Il est essentiel que le Bureau puisse conserver de bons chercheurs et puisse leur assurer des conditions de travail satisfaisantes.

Sans doute le Bureau doit-il éviter de s'engager dans des études nécessitant des crédits importants. Le but à rechercher pour le Bureau est l'excellente qualité du travail qui y est fait.

Par ailleurs notre action est au service de la communauté tout entière, des consommateurs, de l'industrie mais également de l'université. Dans cette perspective il convient que le Bureau s'intéresse aux travaux sur les constantes fondamentales et à tout programme de recherches en relation avec les unités SI. Ce genre de problème, Mr *Dunworth* l'a déjà rencontré dans le laboratoire qu'il dirige. Un laboratoire national est quelquefois amené à acheter des équipements très coûteux, mais on doit pouvoir l'éviter au Bureau International.

En réponse à l'argument de Mr *Issaev* déplorant que le programme de travail n'ait pu être examiné en détail, Mr *Astín* fait remarquer qu'il est extrêmement difficile, dans l'état actuel du développement de techniques de plus en plus onéreuses à mettre en œuvre, de définir en détail et avec précision six ans à l'avance les activités d'un laboratoire comme le Bureau International. Ce programme concerne en effet la période 1973-1976, mais nous devons pourtant le prévoir dès maintenant.

Mr *de Boer* rappelle que le principe même du redressement du niveau du Bureau et de son développement a été adopté il y a déjà plusieurs années, puisque c'est dans ce but qu'une augmentation annuelle de 5 % avait été accordée. Le Comité n'a pas à revenir sur cette décision concernant le développement du Bureau, mais à décider maintenant le pourcentage à consacrer à ce développement en supplément des dotations qui seraient juste suffisantes pour maintenir le Bureau à son niveau actuel.

Une mise au point est faite sur la portée des opinions exprimées par les membres du Comité. Ceux-ci ont à faire part de leur opinion personnelle mais, comme le fait remarquer Mr *Honti*, ils ne peuvent prendre une position diamétralement opposée à celle du Gouvernement de leur pays, quand ils la connaissent, ce qui est souvent le cas étant donné qu'ils occupent des postes de responsabilité. Toutefois, comme l'exprime Mr *Cintra do Prado*, si un membre du Comité International n'engage pas son Gouvernement par le vote qu'il émet, il doit néanmoins, s'il est convaincu du bien-fondé du programme de travail et de la dotation proposés, intervenir auprès des autorités de son pays pour que la position de son Gouvernement à la Conférence Générale soit conforme à la résolution proposée par le Comité International.

Différents points du projet de programme de travail pour les années 1973-1976 sont discutés en détail.

Mr *Issaev* expose le point de vue suivant. Il y a cinquante ans les travaux métrologiques étaient effectués à l'échelle individuelle, la majorité des états n'ayant pas de laboratoire métrologique spécialisé. La création du Bureau International avait concentré les efforts au meilleur niveau; à l'époque c'était tout à fait nécessaire. Maintenant la situation est fondamentalement différente. Les travaux essentiels sont accomplis aujourd'hui au sein des laboratoires nationaux qui ont beaucoup plus de moyens que n'en a le Bureau International. Ce Bureau ne peut plus être l'arbitre entre les laboratoires nationaux dans plusieurs domaines de la métrologie. Étant donné les ressources limitées, nous devons concentrer les travaux du Bureau sur les questions vraiment nécessaires à résoudre sur le plan international et sur la coordination mondiale des travaux. Tous les métrologistes du monde reconnaissent le rôle du Bureau pour les masses, les mesures électriques, les mesures interférentielles; dans ces domaines la réputation du Bureau est très haute. Mais s'il n'y a aucun doute sur le niveau scientifique du travail fait au Bureau dans le domaine des énergies α , est-il vraiment nécessaire qu'il soit effectué au Bureau? Il craint qu'il en soit de même si le Bureau aborde la mesure de la vitesse de la lumière et que cette étude entraîne des dépenses importantes.

Mr *Issaev* critique également le document proposé qui ne donne que des chiffres globaux; il souhaiterait que le détail en soit donné. En demandant ces précisions, il pense aux pays membres de la Convention du Mètre qui n'ont pas de représentant parmi les membres du Comité International.

Il souhaite que soit indiqué le but de chaque étude entreprise et le profit qu'en tirera chaque État.

Le document à présenter aux États membres sera donc revu en tenant compte de ces remarques.

Revenant sur l'historique du Bureau International comme vient de le faire Mr Issaev, Mr *Branscomb* souligne qu'il y a encore beaucoup de pays qui n'ont pas de laboratoire national et qu'il y a peut-être aujourd'hui encore plus de différence entre les pays. C'est pourquoi un laboratoire international ayant une excellente compétence est encore plus nécessaire pour aider les pays qui n'ont pas de laboratoire national suffisamment équipé. Si l'on tient compte du développement économique des grands pays, ceux-ci consacrent au fonctionnement du Bureau International une fraction de plus en plus faible des sommes qu'ils destinent à la métrologie.

Mr *Branscomb* estime qu'il faut que le Comité International soit unanime à présenter ce programme de travail à la Conférence Générale. Peut-être qu'individuellement chaque membre préférerait des ordres de priorité différents. Mais le Comité doit être d'accord sur un ensemble et convaincre la Conférence Générale qu'elle peut faire confiance à ce qui est exposé dans ce programme.

Ce que Mr *Branscomb* incriminerait davantage dans le programme, ce seraient plutôt les lacunes qu'il comporte.

Mr *Stille* appuie l'intervention de Mr *Branscomb*. Il remarque que la métrologie de haute précision est aujourd'hui à la base de la science expérimentale, et qu'elle est importante pour l'industrie moderne, pour le contrôle des produits par exemple. La métrologie est donc vitale pour l'économie de tous les pays et pas seulement pour les pays les plus développés. Aussi le centre international qu'est le B.I.P.M. ne doit-il pas se contenter de remplir un rôle de coordination; il doit aussi guider par des expériences, par des recherches et inciter d'autres recherches dans les laboratoires nationaux. Mr *Stille* regrette aussi les limites imposées au programme par les ressources financières.

Mr *Siegbahn* considère que l'important n'est pas tant d'effectuer au Bureau International des recherches immédiatement nécessaires pour la métrologie, que de maintenir une certaine atmosphère parmi les physiciens qui y travaillent. La question des priorités à donner pourrait entraîner des discussions interminables, car il est difficile en recherche de prouver qu'un sujet est important ou ne l'est pas.

Mr *Dunworth*, reprenant les chiffres d'accroissement du personnel, montre qu'il ne s'agit pas d'accroître l'effectif du Bureau inconsiderément. Il fait remarquer que le Comité a peu discuté sur les étalons des unités de base du SI et sur les travaux s'y rapportant. Le Comité a surtout discuté de ce qui était fait au Bureau dans le domaine des rayonnements ionisants; or, dans le programme proposé, ce chapitre passe de 1/3 à 1/4

du total. Mr *Dunworth* serait même d'accord pour le réduire à 1/5 du total dans quelques années.

Mr *Dunworth* est persuadé que le Bureau doit s'intéresser aux constantes fondamentales; par exemple, la vitesse de la lumière est importante car cette constante touche à deux grandeurs de base : longueur et temps. Le SI est certainement excellent dans sa forme actuelle compte tenu de l'état de nos connaissances, mais il n'est pas déraisonnable d'envisager qu'il subisse des changements très profonds. Il ne faut pas négliger les recherches sur les unités dans des voies totalement nouvelles.

Le *Président* résume les conclusions du débat sur la dotation du Bureau International dans les termes suivants. Le Comité est unanime à réaffirmer que le Bureau International ne doit pas se limiter à des actions de coordination internationale de nature bureaucratique; il doit au contraire posséder d'excellents physiciens et leur donner la possibilité de faire des recherches intéressantes choisies dans la métrologie de base et ne nécessitant pas des équipements d'un prix exagéré. En outre, comme l'a fait remarquer Mr de Boer, cette conception du Bureau International avait déjà reçu l'approbation de la dernière Conférence Générale.

Dans le programme de travail que nous avons discuté, certains membres du Comité ont trouvé des insuffisances, d'autres ont trouvé quelques développements un peu excessifs. Mais nous avons le désir que le Comité soit unanime à présenter à la Conférence un programme unique et bien défini : or nous avons constaté que le programme tel qu'il est actuellement est un bon compromis. Il est donc du devoir de chacun de nous, comme plusieurs membres du Comité l'on déjà dit, de convaincre son Gouvernement et la Conférence Générale qu'ils peuvent faire confiance aux propositions exposées dans ce programme, et accepter les dotations correspondantes qui procurent un développement annuel modeste de 2,8 pour cent.

De plus, sur la proposition de Mr *Issaev*, il a été décidé que le bureau du Comité ajoutera au « complément d'information sur le programme et le budget 1973-1976 » des détails précis, avec indication de la dépense et du temps passé par le personnel, sur chaque point du programme.

13. Visite du Dépôt des Prototypes métriques

Procès-Verbal

Le 8 octobre 1970, à 16 h 15, en présence des Membres du Comité International des Poids et Mesures et du personnel scientifique du Bureau, il a été procédé à la visite du Dépôt des Prototypes métriques internationaux du Pavillon de Breteuil.

On avait réuni les trois clefs qui ouvrent le Dépôt : celle qui est confiée au Directeur du Bureau, celle qui est déposée aux Archives Nationales à Paris et que Mr P. Durye avait apportée, celle enfin dont le Président du Comité International a la garde.

Les deux portes de fer du caveau ayant été ouvertes, ainsi que le coffre-fort qui contient les Prototypes, on a constaté dans ce dernier leur présence et celle de leurs témoins.

On a relevé les indications suivantes sur les instruments de mesure placés dans le coffre-fort :

| | |
|--------------------------------|---------|
| Température actuelle | 19,7 °C |
| — maximale | 21 |
| — minimale | 19 |
| État hygrométrique | 84 % |

On a alors refermé le coffre-fort, ainsi que les portes du caveau.

*Le Directeur
du Bureau,*

*Le Conservateur en Chef
chargé du Secrétariat général
des Archives de France,*

*Le Président
du Comité,*

J. TERRIEN

P. DURYE

J. M. OTERO

14. Questions diverses

Lieu et dates de la 14^e Conférence Générale et de la 60^e session du Comité International. — Le Ministère des Affaires Étrangères de France ne pourra vraisemblablement pas mettre à la disposition du Comité International les salles de réunion de son Centre International à Paris, ce Centre risquant d'être encore occupé par les réunions d'une conférence politique.

Des contacts ont donc été pris avec le directeur de l'Office International des Épizooties, à Paris, pour obtenir la salle où s'était déroulée en octobre 1968 la dernière séance de la 13^e Conférence Générale.

Un calendrier des séances prévues est soumis au Comité; pour des raisons pratiques on a groupé les séances de la Conférence Générale sur une durée plus courte qu'auparavant. Ce calendrier s'établit comme suit :

— 14^e Conférence Générale : six séances et une visite du Bureau International, du lundi 4 octobre au vendredi 8 octobre 1971.

— 60^e session du Comité International : sept séances, du jeudi 30 septembre au lundi 11 octobre 1971.

Honorariat. — Après avoir rappelé que Mr Kersten a été un membre particulièrement actif du Comité de 1965 à 1970 et qu'il a donné récemment sa démission après avoir quitté ses fonctions de président de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, le *Président* propose la nomination de Mr Kersten comme membre honoraire du Comité. Cette proposition est adoptée à l'unanimité.

* * *

Le Président se félicite des résultats obtenus au cours de cette session; il remercie tous ses collègues de leur collaboration et déclare close la 59^e session du Comité International.

RAPPORT DU DIRECTEUR

SUR L'ACTIVITÉ ET LA GESTION DU BUREAU INTERNATIONAL

(1^{er} octobre 1969 — 1^{er} octobre 1970)

I. — PERSONNEL

Remarques générales

Des recherches sont entreprises en vue de recruter un jeune physicien supplémentaire pour la section classique. Les progrès récents dans la stabilisation des lasers et dans l'utilisation de constantes atomiques en métrologie prouvent bien que le succès des travaux futurs du Bureau International nécessitera des connaissances étendues en physique atomique. Les membres du Comité International ont été invités à rechercher des candidats.

Départs

R. CZERWONKA, technicien principal, a quitté son emploi sur sa demande le 31 octobre 1969.

J. MILOBEDZKI, technicien principal, qui avait demandé à bénéficier, pour convenances personnelles, d'un congé de longue durée à partir du 1^{er} avril 1970, a finalement quitté le Bureau le 30 septembre 1970.

Engagements

Vinh Dinh HUYNH, précédemment en stage au Bureau depuis octobre 1966, a été engagé comme physicien dans la section des Rayonnements Ionisants le 1^{er} février 1970.

M^{me} J. COARASA a été engagée comme technicienne le 1^{er} juin 1970.

II. — BÂTIMENTS

Observatoire

Transformation et aménagement des salles 4, 5 et 7. — En avril 1970 on a entrepris une transformation complète des salles 4 (comparateur normal) et 5 (balances), analogue à celle qui a été effectuée en 1967 pour la salle 6. Il s'agit de doubler les superficies précédemment disponibles (40 m² à la salle 4 et 70 m² à la salle 5) en aménageant les espaces en sous-sol, et aussi d'assurer une meilleure stabilité mécanique et thermique pour les balances.

Deux gros massifs, l'un en béton à la salle 4, l'autre en pierres à la salle 5

ont été démolis, et les sous-sols ont été creusés de manière à libérer une hauteur utile de 2,9 m entre les deux niveaux des salles. On a ainsi creusé jusqu'à la base des fondations des murs; celles-ci ont été reconnues en bon état. A la salle 4, on a comblé l'emplacement d'une seconde chaufferie ancienne. L'évacuation des gravois et des terres a été faite au moyen d'un transporteur à courroie placé à travers la salle 7, dont il a été nécessaire d'agrandir provisoirement la baie donnant sur la cour.

Les planchers des sous-sols des deux salles sont constitués par des dalles en béton armé d'une épaisseur de 40 cm, non solidaires des murs; les planchers entre les parties basses et hautes des salles sont aussi des dalles en béton armé, recouvertes d'une chape en ciment. En sous-sol de la salle 4, deux ouvertures ont été pratiquées, l'une vers l'escalier d'accès aux caveaux des prototypes, l'autre vers le sous-sol de la salle 5. Dans celle-ci, un escalier relie les deux niveaux et une trappe dans le plancher supérieur permettra de faire descendre aisément les appareils dans la partie inférieure de la salle. En sous-sol des deux salles, les murs ont été lissés au mortier de ciment. Sur le plancher inférieur de la salle 5, on a construit onze piliers en béton, dont neuf sont traversés par des tubes en aluminium pour l'aération; ces piliers, d'une hauteur de 80 cm et d'une section variant de 1 à 1,5 m², supporteront les balances et leurs accessoires.

Dans la salle 7, le niveau du sol a été relevé jusqu'à celui du couloir de l'Observatoire. La baie de la fenêtre latérale a été agrandie aux dimensions d'une porte donnant sur un quai construit à l'extérieur. Les livraisons destinées à l'Observatoire pourront être ainsi effectuées de plain-pied. La fenêtre sur cour a été rétablie.

Les travaux de menuiserie, plomberie et électricité sont en cours dans ces trois salles.

Grand Pavillon

Le Rapport de 1964, p. 38, mentionnait les travaux de maçonnerie et de drainage exécutés pour l'aménagement d'une ancienne cave d'une superficie de 60 m²; en 1967, un système de ventilation a aidé à combattre l'humidité. La pièce ayant été assainie, il est devenu possible de terminer son aménagement par la distribution d'électricité, la pose d'un faux plafond et la peinture. On a installé des meubles à rayons pour le rangement d'archives et d'ouvrages de bibliothèque.

Les ravalements des façades, exécutés précédemment et pour la dernière fois en 1963, avaient donné des résultats décevants: la peinture à l'huile sur le revêtement en plâtre s'écaillait rapidement sous l'effet des fermentations dues à l'humidité imprégnant les murs; les réfections partielles du plâtre n'amélioraient pas le résultat.

La pose de tubes d'aération Knapen en 1967 avait déjà pour objet de combattre l'humidité des murs. On a maintenant estimé qu'il convenait de laisser se produire un échange d'air entre l'atmosphère et les murs, en ne revêtant plus ceux-ci d'une peinture imperméable.

Un essai a été fait sur une partie limitée à la façade sur cour de la Salle des Conférences et aux trois côtés de l'extrémité nord du bâtiment. Les murs ont été traités comme suit: brûlage de l'ancienne peinture, deux couches de liquide anticryptogamique, rebouchage des fissures, pose de feuilles en fibres de verre, puis deux couches de peinture spéciale « pliolithe »

à base de latex. Les menuiseries extérieures ont été repeintes à la peinture glycérophtalique.

Petit Pavillon

La façade sur cour de l'appartement de fonction avait un revêtement en plâtre complètement dégradé. Après enlèvement de ce plâtre, un nouveau revêtement a été réalisé au mortier de ciment et lissé au ciment blanc. Les menuiseries extérieures ont été repeintes sur les quatre faces du bâtiment.

La chaufferie située en sous-sol assure le chauffage des deux Pavillons. Il était devenu impossible de se procurer un charbon de qualité nécessaire à un fonctionnement normal de la chaudière et on observait des projections de suie. La chaudière a été adaptée à l'emploi du gaz urbain ; le raccordement au réseau de distribution a été réalisé sans difficulté, le débit de la canalisation desservant le Pavillon de Breteuil étant suffisant.

Dépendances

Le précédent Rapport mentionnait le percement, à travers la cour, d'une galerie technique souterraine pour la pose d'un câble électrique 380/220 V alimentant l'Observatoire. Cette galerie débouche maintenant en sous-sol du bâtiment de la menuiserie, dans une pièce d'une superficie de 13 m² où seront installés les stabilisateurs de courant. Le parcours souterrain du câble entre la menuiserie et l'Observatoire emprunte une ancienne galerie approfondie et remise en état ; sa voûte en briques, hors d'usage, a été remplacée par une dalle en béton armé.

Sur le talus à pente très raide situé en arrière de l'Observatoire, un vieux mur de soutènement en ruine dominant le bâtiment constituait un danger permanent pour le personnel appelé à emprunter le couloir de ronde extérieur. Pour qu'une intervention devienne possible sur ce vieux mur, il était indispensable de rehausser au préalable le mur de soutènement du bas du talus afin d'éviter que pendant les travaux préparatoires (débroussaillage, dégagement des fondations) des pierres tombent vers l'Observatoire. Ce mur du bas, déjà haut de 3,5 m en moyenne, a été surélevé d'une hauteur de 1,5 m sur une longueur de 47 m en arrière de la partie ancienne de l'Observatoire. Il protégera à l'avenir le personnel et les bâtiments contre les chutes de pierres provenant du talus. Les joints de la partie existante du mur, en mauvais état, ont été refaits au ciment.

Pour consolider le vieux mur supérieur, on l'a recouvert sur une longueur de 16 m et une hauteur de 7 m, d'un mur en béton armé reposant sur le roc et coulé directement au contact de l'ancienne maçonnerie.

Entre l'Observatoire et la menuiserie, le talus a été entaillé dans sa partie basse sur une longueur de 9 m pour la réfection de la voûte de la galerie reliant la menuiserie et l'Observatoire. Le mur de soutènement du talus, en arrière de l'Observatoire a été prolongé et deux murs en retour ont été construits. On dispose ainsi d'une aire de 50 m² comportant un sol en béton ; une couverture légère en feuilles de plastique supportées par une charpente en bois permettra d'utiliser cet espace pour le rangement de matériels divers.

Dans le parc, la clôture en lattes de bois, en bordure de l'Allée du Mail sur une longueur de 190 m, était complètement dégradée. Cette clôture a

été refaite avec un grillage en fer galvanisé; le grillage et les poteaux ont été repeints.

Téléphone

Le câble téléphonique souterrain desservant le Pavillon de Breteuil et traversant notre parc sur une longueur de 230 m était dégradé et provoquait des perturbations de plus en plus fréquentes. Dans une nouvelle tranchée, évitant cette fois-ci la proximité du câble électrique de 11 000 V, l'administration des Postes et Télécommunications a posé un câble à 50 paires; il permettra d'augmenter le nombre de nos lignes téléphoniques suivant les besoins.

III. — INSTRUMENTS ET TRAVAUX

Remarques générales

Les travaux en cours qui semblent les plus importants se rapportent aux mesures des étalons de longueur et de masse.

Les étalons de longueur à bouts, jusqu'à 1 m, peuvent maintenant être mesurés directement au comparateur photoélectrique et interférentiel, qui était déjà en service pour les étalons à traits; on emploie la technique du comptage de franges de la radiation d'un laser. L'ancien comparateur normal de 1 m, à microscopes visuels, n'a plus guère d'utilité; il a été démonté, et la salle où il se trouvait est en voie de réaménagement pour servir aux études sur les lasers stabilisés et à des expériences sur l'utilisation de l'effet Josephson pour le contrôle des étalons électriques.

Les balances servant à la comparaison des étalons de masse étaient installées dans une grande salle, dans des conditions de stabilité thermique et mécanique qui peuvent être améliorées au prix de travaux de maçonnerie assez importants. Ces travaux ont été entrepris, après démontage des balances.

Une nouvelle balance, d'une portée de 1 kg, est mise à la disposition du Bureau International grâce à la générosité du National Bureau of Standards; ses qualités seront pleinement mises à profit dans la nouvelle installation.

Parmi les autres faits saillants de l'année, citons les suivants :

Une comparaison des étalons de résistance électrique et de force électromotrice des principaux laboratoires nationaux a montré que ces étalons représentent l'ohm et le volt avec une uniformité de quelques dix-millionièmes. L'ajustement des valeurs attribuées à ces étalons, proposé par le Bureau International en 1968, a donc bien eu l'effet espéré de supprimer les écarts entre les étalons des divers pays.

Les mesures absolues de g , accélération due à la pesanteur, sont poursuivies; l'une des améliorations est l'élimination d'une petite erreur systématique, de l'ordre de 10^{-8} , sur la mesure de longueur.

D'autres progrès dans toutes les sections, en particulier dans la section des rayonnements ionisants, sont rapportés en détail dans la suite de ce rapport.

Les calculs sont maintenant pratiquement tous faits à l'aide de l'ordinateur dont l'efficacité a été notablement améliorée par l'élaboration de sous-programmes bien adaptés à nos besoins.

Les voyages imposés par la collaboration avec les principaux laboratoires nationaux et par la participation aux discussions internationales ont été particulièrement nombreux.

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

Avant d'entreprendre les travaux de réaménagement de la salle 4 et de son sous-sol, nous avons dû enlever les importants instruments de mesure qu'elle contenait.

Le *comparateur normal* qui avait été installé en 1954 a été démonté. Il ne sera pas remonté en un autre endroit car, conçu spécialement et uniquement pour la comparaison dans l'eau de prototypes en platine iridié ou de règles étalons de 1 m, il n'a pratiquement plus d'intérêt depuis le changement de la définition du mètre et la mise en service du comparateur photoélectrique et interférentiel (salle 2). Il est possible néanmoins que certains de ses éléments de haute qualité (microscopes « réversibles » et chemin de roulement par exemple) soient ultérieurement utilisés dans d'autres montages.

La *machine à diviser* qui sert assez peu maintenant, mais qui n'en demeure pas moins très précieuse en certaines occasions, a été transportée dans le bâtiment des Rayonnements Ionisants, salle S 20.

Quant à la *machine à mesurer* que l'on utilise toujours pour la mesure des broches cylindriques (généralement en acier et à bouts sphériques), elle a été placée à la salle 3.

Comparateur photoélectrique et interférentiel

La méthode du comptage de franges d'interférences d'un laser hélium-néon asservi et étalonné est maintenant systématiquement utilisée pour l'étalonnage des règles divisées, ainsi que pour leur détermination absolue, puisqu'elle permet de déterminer la partie entière de l'ordre d'interférence observé avec la radiation étalon primaire.

Cette même méthode a été appliquée à la détermination de quelques Mètres prototypes en platine iridié.

Une méthode analogue a été mise au point et expérimentée avec succès pour la mesure des étalons à bouts plans de longueur supérieure à 500 mm.

L'étude d'un dispositif d'enregistrement automatique des résultats de mesure sous forme numérique est en cours.

Enfin, nous avons effectué des essais de déformation du comparateur sous l'influence d'une réduction de la pression à laquelle il est soumis.

Mise au point d'une méthode de mesure de calibres par comptage de franges (J. Hamon)

Pour mesurer les étalons à bouts de longueur égale ou inférieure à 100 mm nous disposons d'un interféromètre à franges de Fizeau construit par A. Pérard il y a une cinquantaine d'années.

Lorsque nous devons mesurer des calibres plus longs, il nous fallait faire un montage spécial soit dans l'interféromètre de Michelson de la salle 14, soit dans celui du comparateur photoélectrique de la salle 2. Mais, pour des étalons de longueur supérieure à 500 mm, la mesure ne pouvait se faire par la méthode des coïncidences par suite du manque de radiations interférant à ces différences de marche; la détermination de la partie entière de l'ordre d'interférence ne pouvait être effectuée que par comparaison à une règle, ou par l'utilisation d'un étalon Perot-Fabry mis en série avec l'interféromètre de Michelson.

En raison du succès de notre technique de comptage de franges de laser pour la détermination des étalons à traits (*voir* Rapport 1969, p. 35), nous avons adapté cette méthode à la mesure des étalons à bouts plans (calibres).

Rappelons que l'interféromètre composite du comparateur à microscopes photoélectriques permet d'effectuer simultanément une mesure par comptage de franges du laser avec une optique à deux trièdres et une mesure statique d'excédents fractionnaires dans un interféromètre de Michelson classique à deux miroirs plans.

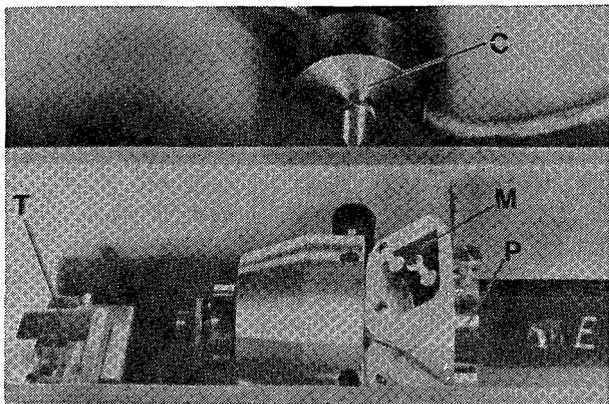


Fig. 1. — Montage pour la mesure des étalons à bouts plans dans le comparateur photoélectrique et interférentiel: calibre et trièdre en place sur le chariot.

C, contrepoids équilibrant l'ensemble trièdre + plan P; E, calibre à bouts plans; M, l'un des trois miroirs du trièdre; P, plan d'acier mis en adhérence sur une extrémité du calibre E; T, trait-rèpère permettant de suivre les dérives du chariot du comparateur.

La méthode de mesure est la suivante (*fig. 1*). Le calibre E est mis en adhérence sur un plan d'acier P de 38 mm de diamètre, puis il est placé sur le chariot mobile du comparateur où il repose par ses points d'Airy sur les supports (couteau et rouleau oscillant) qui servent également aux mesures de règles. Le plan P est rendu solidaire d'un trièdre optique; l'ensemble plan-trièdre est équilibré par un contrepoids C. Le miroir fixe habituel est remplacé par un plan d'acier poli semblable au plan P.

Ayant amené le plan P au parallélisme et au contact optique avec l'image conjuguée du miroir fixe, on déplace le chariot en comptant les franges du laser jusqu'à l'obtention du contact optique avec la face libre du calibre.

En fait, on ne s'astreint pas à observer exactement les contacts optiques : on se contente d'amener les plans au voisinage de cette position, puis on mesure par les interférences, de façon statique, avec quatre radiations par exemple, la distance ε (ou ε') entre l'image du miroir fixe et le plan P (ou l'extrémité libre du calibre). La longueur l du calibre est donc :

$$l = D + \varepsilon - \varepsilon',$$

D étant le déplacement mesuré par comptage d'un nombre entier de franges (voir Rapport 1969, p. 43).

La reproductibilité d'une telle mesure est meilleure que 10 nm quelle que soit la longueur du calibre, pourvu qu'il soit de bonne qualité. Cependant, une petite difficulté est apparue pour des étalons de longueur supérieure à 0,5 ou 0,6 m : pour des causes d'origine thermique ou mécanique, il se produit une petite dérive de la position du chariot du comparateur après un déplacement. Cette dérive, qui peut atteindre 0,1 μm pendant la durée nécessaire aux pointés photoélectriques de phase permettant de mesurer les intervalles ε et ε' , pouvait être une cause d'erreur et rendait même parfois impossible la détermination de ces intervalles par la méthode des coïncidences. Pour pallier cet inconvénient et suivant une suggestion de P. Carré, nous avons placé sur le chariot, derrière le trièdre, une petite plaquette de verre aluminé portant un trait gravé; on dispose les microscopes du comparateur de façon qu'à chacune des deux positions du chariot le trait se trouve sous l'un d'eux. On peut ainsi noter la position du trait au moment des pointés avec chacune des quatre radiations et au commencement ou à la fin du comptage, ce qui permet de tenir compte des dérives de position du chariot.

Un autre point doit être signalé : lors du déplacement du chariot, le parallélisme n'est pas rigoureusement conservé; pour un déplacement de 1 m, par exemple, il apparaît deux franges dans le champ de diamètre 38 mm. Cependant, comme ce dérèglement est reproductible, on repère, avant les mesures, la position des deux boutons d'ajustage fin du parallélisme pour les deux positions du chariot, de sorte qu'il est facile, au cours du comptage, de corriger le petit dérèglement angulaire du chariot.

Le seul facteur limitant l'emploi de cette méthode est la qualité du calibre du point de vue planéité et parallélisme des faces. En effet, il faut diaphragmer le faisceau de façon qu'il n'apparaisse sur la face libre du calibre qu'une région dont le défaut de parallélisme soit inférieur à une frange pour avoir encore une visibilité suffisante. Si le défaut atteint 3 ou 4 franges, la diaphragmation est trop importante et l'affaiblissement du flux lumineux rend impossible les pointés photoélectriques. Cependant, même avec un défaut de parallélisme de cet ordre il est toujours possible de faire une détermination de la longueur du calibre : au lieu de faire des pointés photoélectriques, il suffit d'amener visuellement la frange blanche au centre de la face du calibre; naturellement la précision est moindre, mais elle est encore suffisante pour un étalon de si mauvaise qualité.

Bien entendu, des calibres de longueur égale ou inférieure à 0,5 m peuvent aussi être mesurés directement par la méthode statique classique des coïncidences, dans l'interféromètre de Michelson, avec plusieurs radiations. A titre de contrôle nous avons utilisé les deux méthodes pour la mesure de plusieurs calibres. Voici quelques résultats (moyennes de quatre

mesures ramenées à 20 °C et, entre parenthèses, les écarts-types (en nm) de la moyenne):

| | | Calibres de | | | |
|------------------------------|------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | | 200 mm | 300 mm | 400 mm | 500 mm |
| Comptage de franges du laser | | + 340 nm (3) | + 746 nm (7) | + 98 nm (4) | — 178 nm (1) |
| Michelson | Laser | + 350 (1) | + 738 (1) | + 94 (1) | — 179 (3) |
| | Krypton 86 | + 344 (1) | + 737 (2) | + 94 (1) | — 177 (3) |

Ces résultats ne font apparaître aucun écart systématique significatif entre les deux méthodes.

Voici, d'autre part, quelques valeurs d'écarts-types de la moyenne pour les mesures par comptage de franges de deux groupes de calibres :

| Valeur nominale (mm) | Défaut de parallélisme (franges) | Nombre de mesures | Écart-type de la moyenne (nm) |
|----------------------|----------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| 600 | 0,2 | 4 | 5 |
| 700 | 1 | 6 | 3 |
| 800 | 2 | 4 | 4 |
| 900 | 1,5 | 4 | 4 |
| (1 000) | 4,5 | 2 | 4 |
| (600) | 3 | 2 | 12 |
| 700 | 0,8 | 4 | 4 |
| (800) | 4 | 2 | 18 |
| 900 | 1,25 | 4 | 10 |
| 1 000 | 2 | 6 | 13 |

Les calibres dont la valeur nominale est inscrite entre parenthèses ayant un défaut de parallélisme trop important, le contact optique était estimé visuellement. Il est à noter que dans les écarts-types interviennent non seulement les incertitudes sur les mesures de longueur proprement dites, mais aussi les incertitudes sur les mesures d'indice de l'air et de température et, éventuellement, sur le coefficient de dilatation de chaque étalon.

Les calculs pour la réduction des observations de ces mesures de calibres ont été programmés pour notre ordinateur par P. Carré.

Cette nouvelle méthode de détermination de la longueur des étalons à bouts plans nous donne entière satisfaction.

Enregistrement sous forme numérique des résultats de certaines mesures
(P. Carré, J. Hostache)

Les mesures interférentielles de longueur exigent la détermination d'un grand nombre d'excédents fractionnaires obtenus actuellement au moyen d'enregistrements graphiques (galvanomètre et enregistreur à suiveur de spot). Les élongations sont lues sur ces enregistrements et perforées sur cartes. Nous avons envisagé d'obtenir les cartes perforées de façon automatique afin de supprimer le travail fastidieux que demande le dépouillement et de réduire le risque d'erreurs.

Dans un premier stade, l'enregistreur sera conservé à titre de contrôle. Une perforatrice télécommandée (I.B.M. modèle 545) a été louée; elle a déjà été essayée et une partie de la logique de commande est construite. Un convertisseur analogique numérique à 4 096 points a été acheté. Nous pensons que ce dispositif pourra fonctionner dans quelques mois.

Essais du comparateur sous pression réduite (P. Carré, J. Hamon)

A la demande de l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti (Torino), qui se propose d'acquérir un comparateur analogue au nôtre et de le faire fonctionner dans le vide pour effectuer des comparaisons de longueurs d'onde, nous avons fait des essais de déformation sous l'influence d'une réduction de pression.

Nous avons établi une dépression de valeur maximale 13 700 N/m² par rapport à la pression atmosphérique sans observer de dérèglement appréciable du parallélisme de l'interféromètre de Michelson. On peut donc être assuré que, en passant de la pression atmosphérique au vide, le dérèglement pourra être compensé par les réglages fins disponibles à l'extérieur du caisson.

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

Mètre prototype N° 20 (Australie)

Ce Mètre en platine iridié possède cinq traits définissant :

- 1 mètre à 0 °C (intervalle AB'),
- 1 mètre à 20 °C (intervalle AB),
- 1 yard à 20 °C (intervalle CD);

il possède de plus un trait central M.

Ce Mètre a été étudié au moyen du comparateur photoélectrique et interférentiel en effectuant 16 séries au cours desquelles l'intervalle AB a été déterminé de façon absolue et les traits C, M, D, B' rattachés aux traits A et B par comptage de franges.

Le tableau I rassemble les résultats obtenus au Bureau International (colonne 3), ainsi que les résultats du National Standards Laboratory d'Australie avant (colonne 2) l'envoi du Mètre N° 20 au B.I.P.M. et au retour (colonne 4) du Mètre au N.S.L.

TABLEAU I

Mètre N° 20 à 20 °C (E.I.P.T. - 1968)

| Intervalle (1) | N.S.L. (1967) (2) | B.I.P.M. (1969) (3) | N.S.L. (1970) (4) |
|-------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
| AB | 1 m + 1,49 μm | 1 m + 1,555 μm* | 1 m + 1,51 μm |
| AB' | | 1 m + 174,51 μm* | |
| CD | 0,9144 m + 0,68 μm | 0,9144 m + 0,58 μm | 0,9144 m + 0,60 μm |
| BB' | 172,96 μm | 172,952 μm | |

* En 1960, la valeur obtenue au comparateur normal à microscopes visuels par comparaison aux prototypes du B.I.P.M. était :

$$\left. \begin{array}{l} AB = 1 \text{ m} + 1,31 \mu\text{m} \\ AB' = 1 \text{ m} + 174,26 \mu\text{m} \end{array} \right\} \text{ à } 20 \text{ °C}$$

La différence entre les résultats de 1969 et ceux de 1960 est bien de l'ordre de grandeur de ce que l'on admet comme étant dû au changement de la définition du mètre.

Mètres prototypes d'usage du B.I.P.M.

Nous avons entrepris l'étude des prototypes d'usage du B.I.P.M. au moyen du comparateur photoélectrique et interférentiel. Nous comptons étudier aussi le Mètre International.

Actuellement, deux prototypes ont déjà été étudiés.

Mètre prototype N° 19. — Huit séries de mesures ont été effectuées sur ce prototype qui porte trois traits définissant à la fois un intervalle de 1 m à 20 °C et un intervalle de 1 m à 0 °C.

L'intervalle de 1 m à 20 °C a été mesuré par comparaison à la radiation étalon primaire, la partie entière de l'ordre d'interférence étant déduite du comptage de franges d'un laser.

L'intervalle de 1 m à 0 °C a été rattaché au précédent par comptage de franges.

Les résultats obtenus en 1970 sont :

$$\text{N}^{\circ} 19 \quad \left\{ \begin{array}{l} (20) = 1 \text{ m} + 0,375 \mu\text{m} \\ (0) = 1 \text{ m} + 173,484 \mu\text{m} \end{array} \right\} \quad \text{à } 20 \text{ }^{\circ}\text{C (E.I.P.T. - 1968)}$$

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

$$\text{N}^{\circ} 19 \quad \left\{ \begin{array}{l} (20) = 1 \text{ m} + 0,25 \mu\text{m} \\ (0) = 1 \text{ m} + 173,40 \mu\text{m} \end{array} \right\} \quad \text{à } 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Mètre prototype N° 26. — Douze séries de mesures ont été effectuées sur ce prototype qui définit un intervalle de 1 m à 0 °C.

Cet intervalle a été mesuré par comparaison à la radiation étalon primaire, la partie entière de l'ordre d'interférence étant déterminée par comptage de franges d'un laser.

Le résultat obtenu en 1970 est :

$$\text{N}^{\circ} 26 = 1 \text{ m} + 173,054 \mu\text{m} \text{ à } 20 \text{ }^{\circ}\text{C (E.I.P.T. - 1968).}$$

La valeur admise en 1957 à la suite des mesures faites au comparateur normal à microscopes visuels était :

$$\text{N}^{\circ} 26 = 1 \text{ m} + 172,84 \mu\text{m} \text{ à } 20 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

Règle N° 504

Cette règle de 0,7 m en acier au chrome, manganèse et vanadium, appartenant à la Société Hauser (Bienne, Suisse), a été étudiée au moyen du comparateur photoélectrique et interférentiel : coefficient de dilatation, équation de l'intervalle principal 0-700 mm, étalonnage de tous les traits centimétriques et des traits millimétriques de trois centimètres isolés.

Les étalonnages ont été effectués uniquement par comptage de franges d'un laser ; l'équation a été déterminée par comparaison à la radiation étalon primaire, en utilisant néanmoins le comptage de franges pour la détermination de la partie entière de l'ordre d'interférence.

Étalons à bouts

Broche en acier de 1 m. — Cet étalon à bouts sphériques qui appartient au Bureau International a été prêté pendant une année environ à l'Institut de Physique de Mexico. A son retour à Sèvres, sa longueur a été vérifiée

à la machine à mesurer. L'excellent accord obtenu entre les valeurs avant et après le voyage à Mexico, respectivement $1\text{ m} - 0,7\ \mu\text{m}$ et $1\text{ m} - 0,5\ \mu\text{m}$ à $0\text{ }^\circ\text{C}$, montre que la broche n'a pas eu à souffrir de ce voyage.

Calibres. — Cinq calibres à bouts plans de 600, 700, 800, 900 et 1 000 mm (Hongrie) et neuf calibres de 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 et 1 000 mm (Roumanie) ont été mesurés au moyen du comparateur photo-électrique et interférentiel par la méthode décrite p. 35.

Projet de dilatomètre interférentiel (J. Hamon)

La détermination du coefficient de dilatation des étalons à bouts et à traits directement dans le comparateur photoélectrique et interférentiel oblige actuellement à porter l'ensemble de la salle d'observation à diverses températures, supérieures ou inférieures à la température ambiante. Ce procédé est peu pratique et présente de multiples inconvénients, d'où la nécessité d'avoir un dilatomètre indépendant dont un avant-projet est en cours d'étude.

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

Fils et rubans géodésiques

18 fils ou rubans de 4, 8, 24 et 50 m ont été étalonnés depuis le 1^{er} septembre 1969 pour l'Afrique du Sud, l'Algérie, la France, le Portugal, la République Arabe Unie et la Roumanie.

Livraison d'invar géodésique

Les nombreuses demandes d'invar géodésique, en fil ou en ruban, nous ont conduit à reconstituer notre stock. Une nouvelle coulée d'alliage invar des Acières d'Imphy a été acceptée après examen de ses qualités thermique et élastique, et une commande importante a été passée.

Interférométrie

Mesures de longueurs d'onde de lasers

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

R. L. Barger, du Joint Institute for Laboratory Astrophysics (Boulder, États-Unis) a apporté au Bureau, au début d'août 1970, un laser à He-Ne asservi sur une raie d'absorption saturée du méthane ($\lambda = 3,39\ \mu\text{m}$).

Nous avons entrepris la mesure de la longueur d'onde de la radiation émise par ce laser. Cette étude est effectuée par comparaison à la radiation étalon du krypton 86 au moyen de l'interféromètre de Michelson maintenu sous vide. Pour obtenir la meilleure précision, la différence de marche dans l'interféromètre est réglée à $\pm 375\text{ mm}$; quelques mesures de contrôle ont été effectuées à $\pm 10\text{ mm}$ et $\pm 100\text{ mm}$ pour éliminer le risque d'erreurs grossières.

Les lames séparatrice et compensatrice de notre interféromètre étant en silice fondue et l'optique de sortie n'utilisant que des miroirs, les seuls aménagements nécessaires ont été les suivants :

— remplacement des fenêtres en verre du caisson étanche par des fenêtres en silice fondue;

— modification du système de commande de la compensatrice pour explorer un peu plus d'une frange à $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$;

— remplacement du revêtement en aluminium de la lame séparatrice, opaque dans l'infrarouge, par un revêtement diélectrique ;

— adjonction à l'entrée de l'interféromètre d'un miroir à revêtement dichroïque, transparent pour les radiations visibles et réfléchissant pour l'infrarouge ; ce miroir permet d'admettre dans l'interféromètre les radiations du krypton ou du laser sans déplacer aucun élément optique.

Ces deux revêtements ont été aimablement calculés et réalisés pour nous par E. Pelletier et J. Fattaz, du laboratoire Aimé Cotton, dans un délai très court et avec un plein succès ; nous les en remercions vivement.

A la sortie de l'interféromètre, un dispositif à glissière permet de substituer rapidement, derrière le diaphragme isolateur, un viseur autocollimateur pour les réglages (focalisation, parallélisme), le photomultiplicateur habituel, pour les mesures dans le visible, ou le récepteur infrarouge (In-Sb). Ce récepteur est solidaire d'une lentille en silice qui projette sur sa surface sensible (environ $0,1 \text{ mm}^2$) une image du diaphragme isolateur réduite à environ $0,05 \text{ mm}$ de diamètre.

Les causes d'erreurs systématiques suivantes ont été examinées :

1° Défaut de linéarité de la commande de rotation de la compensatrice, organe essentiel de la méthode de pointé des franges. Ce défaut a été étudié par exploration systématique des franges dans le visible et dans l'infrarouge. P. Carré a pris en charge les calculs nécessaires pour cette étude et la réduction des observations à l'ordinateur. Le léger défaut de linéarité mis en évidence fait l'objet d'une correction ; l'erreur résiduelle provenant de cet effet ne dépasse probablement pas $0,0004$ frange de la radiation laser, soit 2×10^{-9} sur la longueur d'onde mesurée.

2° Obliquité des faisceaux. L'ouverture du diaphragme isolateur ($0,2 \text{ mm}$ de diamètre, au foyer d'un miroir de 60 cm de distance focale) pourrait entraîner une correction d'obliquité de l'ordre de 6×10^{-9} . Des mesures comparatives avec un diaphragme de $0,1 \text{ mm}$ de diamètre ont montré que l'erreur possible ne dépasse pas 1×10^{-9} .

3° Uniformité d'éclairement. La méthode de mesure, utilisant des différences de marche symétriques $+D$ et $-D$, élimine en principe ce type d'erreur. Nous avons essayé d'évaluer une limite supérieure de l'erreur résiduelle, en obturant par moitié le faisceau infrarouge seul. Les écarts obtenus ne dépassent pas 3×10^{-9} .

L'étude des autres causes d'erreurs systématiques possibles se poursuit. Une valeur provisoire de la longueur d'onde dans le vide de cette radiation peut actuellement être fixée à :

$$\lambda_{\text{vide}} = 3\,392,231\,38 \text{ nm} \pm 0,000\,02 \text{ nm} ;$$

la précision relative de 6×10^{-9} résulte essentiellement de la limite supérieure des erreurs systématiques telle qu'on peut l'évaluer actuellement.

Laser à $\lambda = 0,633 \mu\text{m}$ asservi sur le « Lamb-dip » (J. Hamon, A. Sakuma)

Dans l'interféromètre de Michelson pour la mesure de g (salle 1), nous avons comparé la longueur d'onde de nos deux lasers He-Ne (Spectra-Physics, modèle 119) à celle de la radiation étalon.

En mars 1969, après une centaine d'heures de fonctionnement, nous avons obtenu pour ces deux lasers :

$$\lambda_{\text{vide}} = 0,632\ 991\ 410\ \mu\text{m}.$$

En janvier 1970, après environ 500 heures de fonctionnement, nous avons obtenu :

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{vide}} &= 0,632\ 991\ 414\ \mu\text{m}\ \text{pour l'un,} \\ \lambda_{\text{vide}} &= 0,632\ 991\ 415\ \mu\text{m}\ \text{pour l'autre.}\end{aligned}$$

Étude de filtres interférentiels (J. Hamon)

A l'aide du monochromateur à réseau de la salle d'interférométrie, on a étudié la transmission de sept filtres interférentiels (pics de transmission entre 0,94 et 1,06 μm) utilisés en pyrométrie (*voir* p. 53). A cette occasion, on a enregistré une bande d'absorption de l'air entre 0,93 et 0,96 μm vraisemblablement due à la vapeur d'eau.

Masses (G. Girard)

Le Dr Branscomb, directeur du National Bureau of Standards, nous a informés en octobre 1969 qu'il mettrait en 1970 à la disposition du Bureau International une balance (NBS-2) de haute précision de portée 1 kg mise au point à la Section des masses du N.B.S.

Notre salle des balances étant déjà très encombrée, nous n'avions pas la place d'y loger cette nouvelle balance dans de bonnes conditions. Nous avons profité de cette occasion pour modifier l'agencement de cette salle et dégager, en sous-sol, une nouvelle salle de même superficie. Les balances qui ont besoin d'une grande stabilité seront installées dans ce sous-sol (salle 105), sur des piliers courts. Les balances de faible portée seront placées sur des consoles le long des murs de la salle 5. La place libérée au milieu de la salle permettra d'effectuer dans de meilleures conditions les études annexes concernant les masses.

Le déménagement de la salle 5 a eu lieu au mois de mars 1970; les travaux de maçonnerie, commencés au milieu du mois d'avril, seront pratiquement terminés en octobre. Les travaux d'aménagement devraient être terminés au printemps 1971. La remise en place des balances ne pourra être commencée que lorsque l'humidité sera revenue à un degré acceptable.

Balance NBS-2

G. Girard a fait un stage de quatre semaines à la Section des masses du National Bureau of Standards en avril 1970; P. Carré et R. Hanocq, mécanicien, l'ont rejoint les dix derniers jours. Ce stage avait pour but principal de familiariser ces trois personnes avec la balance NBS-2 (pesées, organisation et réduction des mesures, démontage et remontage des pièces essentielles) et d'assurer son transfert à Sèvres dans les meilleures conditions possibles.

Cette balance (*fig. 2*) est du type à un seul plateau et deux couteaux. La masse de 1 kg déposée sur le plateau est équilibrée par un contrepoids, autant que possible de même matière que la masse à étudier. La période d'oscillation est de l'ordre de 37 s. Les couteaux et les plans restent en

contact, sous charge, pendant toute la durée de la pesée. Un transporteur, sur lequel peuvent être disposés six Kilogrammes, permet de déposer la masse choisie sur le plateau.

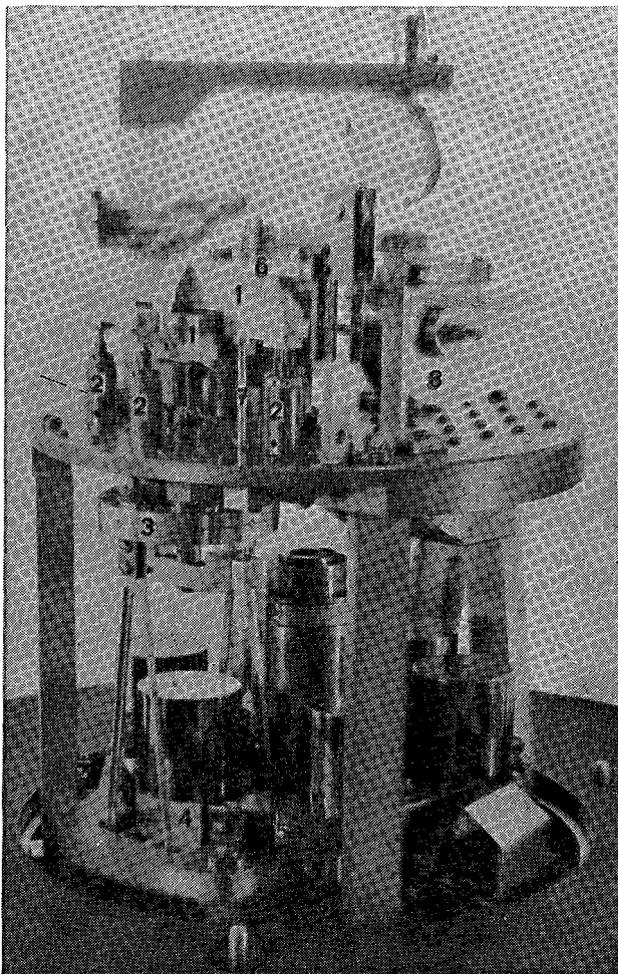


Fig. 2. — Balance NBS-2.

1, Ensemble plans-couteaux croisés; 2, Butée de repos ou d'arrêt; 3, Cardan de suspension; 4, Plateau; 5, Transporteur; 6, Mécanisme de dépôt de la surcharge; 7, Tiges de suspension; 8, Contrepoids.

Il est ainsi possible de comparer six étalons (ou moins) dans toutes leurs combinaisons deux à deux. A titre d'exemple, une telle comparaison de quatre Kilogrammes dure environ deux heures et demie.

Dès son arrivée à Sèvres, la balance a été remontée et installée provisoirement dans une salle où l'on disposait d'un pilier libre. Des essais sont en cours.

Études courantes

Détermination de la masse :

- d'un Kilogramme en laiton doré (Finlande);
- d'un Kilogramme en baros (Bulgarie);
- d'une pièce de 10 g (L.C.I.E., France).

Masse volumique de l'eau lourde

A la demande du Centre d'Études Nucléaires de Saclay, nous avons entrepris une détermination de la masse volumique de l'eau lourde à deux titrations différentes par la méthode hydrostatique. Mr Ceccaldi et Mlle Riedinger (C.E.N., Saclay) nous ont aidés dans ce travail. Les premières mesures ont été effectuées sur une eau à 99,94 % environ de D₂O, les secondes sur un mélange à masses égales d'eau ordinaire et d'eau lourde à 99,9 %. La cage inférieure de la balance hydrostatique a été modifiée pour la rendre étanche et pour pouvoir effectuer les manipulations à l'aide de gants.

On a utilisé la même méthode que pour l'étude de la variation de la masse volumique de l'eau en fonction de sa composition isotopique, c'est-à-dire la mesure de la poussée hydrostatique reçue par un cylindre de volume connu, immergé dans le liquide.

Pour éviter une altération du titre de l'eau, nous avons fait les premiers essais sans dégazer l'eau avant la mesure. Cependant, à cause de la formation de très nombreuses bulles de gaz sur toutes les surfaces, nous avons été contraints de revenir à la technique du dégazage, ce qui a diminué quelque peu le titre de l'eau lourde utilisée.

Les résultats provisoires des premières mesures portant sur deux échantillons sont les suivants :

| Titre % de D ₂ O | Masse volumique à 22,3 °C et 101 325 N/m ² |
|--------------------------------|---|
| 99,941 | 1 104,933 kg/m ³ |
| 99,944 | 1 104,939 |

(A titre indicatif, une variation du titre de 0,001 % correspond théoriquement à une variation de la masse volumique de 1×10^{-3} kg/m³ environ).

Masse volumique de l'eau pure

Cette étude, dont il a déjà été question dans le Rapport de 1969, p. 52, a été poursuivie par des mesures avec de l'eau artificiellement enrichie en oxygène 18. L'augmentation de masse volumique par rapport à l'eau du robinet a été d'environ 5 et 8×10^{-3} kg/m³.

Les principaux résultats acquis dans cette étude depuis son début ont fait l'objet d'une Note aux Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris (*voir* Publications, p. 79); ils sont représentés à la figure 3 où $\Delta \rho_c$ est la variation de la masse volumique de l'eau due au changement de sa composition isotopique, variation calculée suivant une formule théorique légèrement améliorée par rapport à celle publiée antérieurement (*Metrologia*, 3, 1967, p. 58), et $\Delta \rho_m - \Delta \rho_c$ est la différence entre les variations

de masse volumique mesurée et calculée; l'eau du robinet est prise pour référence ($\Delta\varrho_c = 0$).

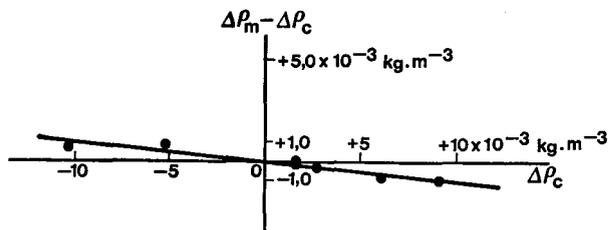


Fig. 3. — Variation de la masse volumique de l'eau en fonction de sa composition isotopique.

En ordonnée : différence entre les variations mesurée ($\Delta\varrho_m$) et calculée ($\Delta\varrho_c$); en abscisse : $\Delta\varrho_c$ (qui est lui-même fonction de la composition isotopique).

On voit que les différents points s'alignent assez bien sur une droite de pente $-0,1$ ce qui suggère de réduire de $1/10$ les coefficients de la formule théorique. Aucune interprétation satisfaisante de ce résultat n'a été trouvée jusqu'à maintenant.

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

Détermination absolue de g

Les études sur l'élimination des causes d'erreur systématique sont achevées et nous pourrions publier prochainement les résultats définitifs de la détermination absolue de g .

Pendant plus de dix ans nous avons concentré nos efforts pour la mise en œuvre de notre appareil de mesure prototype (gravimètre absolu). La sensibilité et l'exactitude finalement atteintes dépassent nos espérances premières; à l'heure actuelle, les variations de la pesanteur dues à l'effet luni-solaire sont nettement mesurables par notre gravimètre absolu, avec une précision de l'ordre du centième de leur amplitude maximale.

Désormais notre appareil est en mesure de constituer une première station permanente de gravimétrie absolue au Pavillon de Breteuil.

Ce rôle du gravimètre absolu répond non seulement aux besoins propres de la métrologie, mais aussi à l'intérêt manifesté par plusieurs organisations scientifiques : Comité National Français de Géodésie et de Géophysique, Groupe d'étude N° 4-21 sur la variation séculaire de la pesanteur de l'Association Internationale de Géodésie, Commission Gravimétrique Internationale, etc.

Comme le montre la résolution N° 1 adoptée par cette dernière Commission à sa VI^e réunion (Paris, septembre 1970) ⁽¹⁾, l'observation permanente de la pesanteur en plusieurs points du globe avec des appareils absolus de

(¹) La Commission Gravimétrique Internationale,

recommande que les valeurs absolues de la pesanteur, avec la meilleure précision actuellement possible (quelques microgals), soient adoptées comme base de référence pour les problèmes géodésiques et géophysiques relatifs aux variations des conditions physiques de la Terre (variation séculaire de la pesanteur, niveau de la mer, déformation de la croûte, etc.). Bureau Gravimétrique International, *Bulletin d'Information*, N° 24, p. I-27 et p. I-42.

haute précision est d'un grand intérêt pour la géophysique. Dans cet esprit, le Bureau International vient d'amorcer une collaboration technique avec l'International Latitude Observatory (Mizusawa, Japon) en vue de la fondation d'une seconde station permanente d'observation de la pesanteur. Les sujets principaux d'études de cette station future seront : le déplacement des pôles et la variation séculaire de la forme du géoïde, les déformations de la croûte terrestre, la dérive des continents, la structure de l'intérieur de la Terre, les marées gravimétriques, la prédétection des tremblements de terre, etc.

Dans le cadre de cette collaboration, Mr Hosoyama, spécialiste des marées gravimétriques, a effectué un stage de deux semaines en novembre 1969 à la section de gravimétrie du B.I.P.M.

Comparaison des mesures de l'étalon de longueur N° 1 à l'aide de deux interféromètres

La longueur de l'étalon de référence en silice fondue N° 1 (0,8 m) avait été mesurée jusqu'à présent à l'aide d'un interféromètre de Michelson auxiliaire; elle a été mesurée directement à l'aide de l'interféromètre pour la mesure de g (voir Rapport 1969, p. 58) en utilisant la radiation étalon du krypton 86, la lampe étant refroidie à 58 K. Pour cette mesure il était indispensable de relier temporairement d'une manière rigide le trièdre « mobile » (N° 2 utilisé depuis 1969) au caisson à vide horizontal dans lequel se trouve l'interféromètre, tout en laissant ce trièdre dans le caisson à vide vertical.

Malgré la difficulté technique de cette expérience, nous avons pu déterminer la longueur de l'étalon N° 1 avec une précision de 1 nm sur 0,8 m; la mesure a confirmé un écart de $-13,5$ nm avec la valeur mesurée à l'aide de l'autre interféromètre. Cet écart provenait de défauts de planéité des miroirs du trièdre mobile : la surface d'onde réfléchie par ce trièdre était légèrement concave et, du fait du changement de diaphragme, tout se passait comme si le trièdre avait deux sommets distincts correspondant respectivement à chacune des deux stations.

Après avoir constaté pendant deux mois environ une bonne constance de cet état de déformation du trièdre afin de pouvoir appliquer une correction sur les valeurs de g précédemment obtenues, les miroirs du trièdre ont été remplacés par des miroirs de meilleure qualité en choisissant la meilleure combinaison des régions utilisées sur ces trois miroirs. Après cette modification, l'écart entre les valeurs moyennes obtenues pour la longueur de l'étalon N° 1 mesurée à l'aide des deux interféromètres est maintenant considérablement réduit :

$$l_1 = 792\,589\,462,5 \pm 1 \text{ nm à } 20 \text{ }^\circ\text{C dans le vide, avec l'interféromètre auxiliaire,}$$

$$l_1 = 792\,589\,463,7 \pm 1 \text{ nm à } 20 \text{ }^\circ\text{C dans le vide, avec l'interféromètre de mesure de } g.$$

A cette occasion, un bon miroir plan de référence a été installé dans le caisson à vide horizontal afin de surveiller l'évolution éventuelle de l'état de planéité des miroirs dans les deux interféromètres. Sur un laps de temps de deux mois, nous avons constaté une bonne constance de la planéité des

éléments optiques, y compris ceux du trièdre mobile, à un millième de frange près (0,3 nm).

Pour les mesures de g en 1967 et 1968 un autre trièdre mobile (N° 1) a été utilisé; il était donc nécessaire de vérifier ses défauts de planéité; ce travail est en cours afin de déterminer la longueur apparente de l'étalon N° 1 associé à ce trièdre. Les mesures préliminaires montrent que la correction due à l'utilisation du trièdre N° 1 en 1967 et 1968 ne dépasse pas quelques 10^{-9} .

Ces mesures de la longueur de l'étalon N° 1 nous ont permis de constater que la radiation étalon du krypton 86, même en refroidissant la lampe à 58 K, est susceptible de fournir une reproductibilité de l'ordre de 10^{-9} , et une exactitude des résultats probablement du même ordre en utilisant pour la longueur d'onde dans les conditions de ces mesures la valeur adoptée précédemment (Rapport 1969, p. 56).

Valeurs de g de juin 1969 à février 1970

Les mesures de g ont été continuées périodiquement pendant neuf mois, afin de déceler l'existence éventuelle d'une variation saisonnière de la pesanteur.

Les valeurs moyennes au point de mesure A2, après une correction de $-16,7 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ provenant de l'erreur systématique sur la mesure de l'étalon de longueur N° 1 (paragraphe précédent), et les écarts-types d'une mesure sont pour cette période :

$$g_{A2} = \left\{ \begin{array}{ll} (9,809\ 256\ 50_s \pm 0,000\ 000\ 08_s) \text{ m/s}^2 & \text{(juin-juillet 1969)} \\ (\quad \quad 49_0 \pm \quad \quad 05_4) & \text{(août-septembre 1969)} \\ (\quad \quad 54_1 \pm \quad \quad 10_6) & \text{(oct.-nov. 1969)} \\ (\quad \quad 58_7 \pm \quad \quad 05_8) & \text{(décembre 1969)} \\ (\quad \quad 60_3 \pm \quad \quad 09_0) & \text{(janvier 1970)} \\ (\quad \quad 50_0 \pm \quad \quad 09_1) & \text{(février 1970)} \end{array} \right.$$

On constate d'après ces quelques résultats :

- une bonne constance de g pendant les quatre mois de juin à septembre 1969;
- une légère tendance à l'augmentation de g , d'environ 1×10^{-8} , pendant les quatre mois suivants (octobre 1969 à janvier 1970);
- la disparition de cette tendance en février 1970, où g retrouve sensiblement sa valeur de l'été 1969.

Avant de tirer une conclusion définitive, nous devons continuer nos mesures sur une plus longue période en assurant l'exactitude du fonctionnement de l'appareil; il sera nécessaire également de vérifier la validité de la correction théorique de l'effet luni-solaire ⁽²⁾, car cette correction atteint souvent $\pm 1,5 \times 10^{-7}$ aux périodes de nouvelle lune et de pleine lune (pour cette étude nous avons établi récemment une collaboration avec le Professeur Lecolazet, spécialiste des marées gravimétriques, de l'Institut de

⁽²⁾ Nous sommes très reconnaissants au Service Hydrographique de la Marine (Paris), à l'International Latitude Observatory (Mizusawa) et à l'Institut de Physique du Globe (Strasbourg), qui nous ont fourni des tables des marées gravimétriques arrondies au microgal.

Physique du Globe de Strasbourg). Dans l'état actuel, cette série de mesures indique cependant une limite supérieure de la variation saisonnière de g : elle ne dépasse pas 2×10^{-8} pour la période considérée.

Reproductibilité des résultats après démontage et remontage du gravimètre absolu

Après la mesure de g de février 1970, les éléments les plus importants de notre gravimètre absolu ont été démontés pour servir à une étude sur la déformation des franges achromatiques de superposition (voir ci-après); il a été remonté en août 1970, avec quelques améliorations de détail dans les chronographes électroniques et les enregistreurs de microséismes.

Cette opération nous a permis de nous rendre compte de la reproductibilité des résultats obtenus avec notre gravimètre après démontage et remontage; nous avons ainsi obtenu :

$$g_{A2} = (9,809\ 256\ 57_4 \pm 0,000\ 000\ 020) \text{ m/s}^2 \text{ (août 1970).}$$

Cette valeur est en bon accord avec les résultats précédents; l'amélioration importante de la sensibilité (écart-type d'une mesure $2 \times 10^{-9} g$) nous laisse à penser qu'il ne sera plus illusoire de mesurer g avec une précision du microgal en valeur absolue lorsque l'unité de longueur sera définie avec une précision de 1×10^{-9} .

A la suite de cette mesure de g d'août 1970, nous avons par ailleurs constaté statistiquement qu'entre les trois tables des marées gravimétriques dont nous disposons ⁽²⁾, celle qui est établie par l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg pour 378 ondes de marées en tenant compte des déphasages des ondes dus à la viscosité concorde le mieux avec nos observations.

Freinage par l'air résiduel

Nous avons déjà dit (Rapports 1967, p. 50, et 1969, p. 58) que notre méthode de mesure de g (double chute symétrique, ascendante puis descendante) élimine l'effet du freinage par l'air résiduel, mais qu'elle permet aussi de déterminer expérimentalement les décélérations du trièdre mobile dues à ce freinage.

La figure 4 montre cet effet de freinage en fonction de la pression p de l'air résiduel; Δt_p est la différence entre la durée de la chute freinée à la pression p et celle de la chute libre idéale (vitesse initiale nulle, hauteur de chute : 1 m); cette différence est proportionnelle à la hauteur de chute pour les pressions et les vitesses considérées.

On note sur cette figure deux domaines linéaires : l'un, pour les pressions inférieures à $0,05 \text{ N/m}^2$ ($\approx 4 \times 10^{-4} \text{ mmHg}$), correspond au régime moléculaire, l'autre, pour les pressions supérieures à 1 N/m^2 ($7,5 \times 10^{-3} \text{ mmHg}$), correspond au régime laminaire.

En régime laminaire, comme il est bien connu en aérodynamique, la viscosité est pratiquement indépendante de p , et Δt_p de même, mais la décélération moyenne du trièdre après 1 m de chute atteint $1,2 \times 10^{-5} g$ (12 mGal). En régime moléculaire, à cause de l'augmentation du libre

(2) Voir note page précédente.

parcours moyen dans l'air résiduel, les échanges directs d'énergie cinétique entre le trièdre mobile et les parois du caisson à vide font apparaître des forces de freinage proportionnelles à p et la pente ($\approx 16,5 \mu\text{s}/\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$) est environ 200 fois plus grande qu'en régime laminaire.

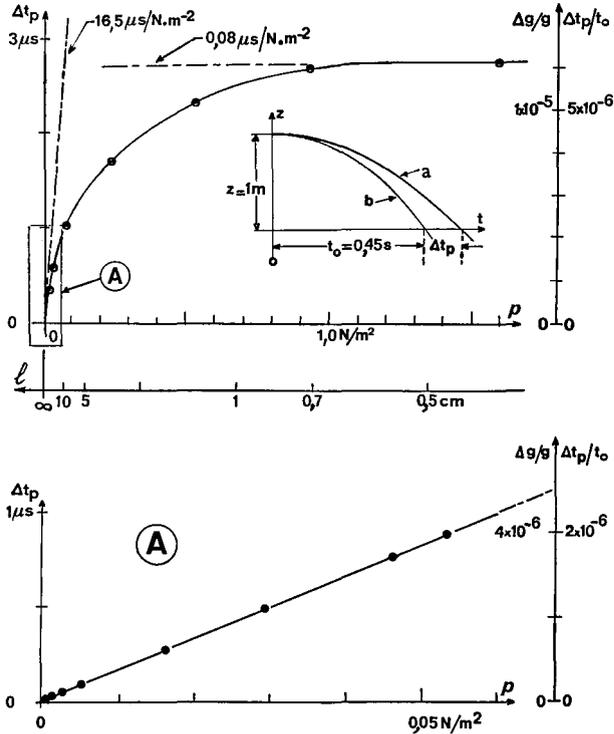


Fig. 4. — Freinage de la chute libre par l'air résiduel.

Variations du retard Δt_p pour une chute libre de 1 m dans l'air raréfié, rapporté à la chute dans le vide, en fonction de la pression p . Les courbes a et b représentent schématiquement les lois du mouvement dans l'air raréfié (a) et dans le vide (b).

A titre indicatif, on a ajouté en abscisse une échelle des libres parcours moyens l correspondant aux pressions p pour l'azote à 20°C , et en ordonnée deux échelles donnant les erreurs relatives sur la durée de chute ($\Delta t_p/t_0$) et sur la valeur de g mesurée par chute simple ($\Delta g/g$).

Les droites en tireté donnent les pentes des deux parties rectilignes de la courbe correspondant respectivement au régime moléculaire et au régime laminaire.

En A, la partie correspondant au régime moléculaire est donnée à plus grande échelle.

Cette étude nous permet d'évaluer, expérimentalement, l'erreur systématique qu'introduirait l'effet de freinage si l'on utilisait une chute simple; par exemple, si g était déterminé en observant les passages à trois stations situées respectivement à 10 cm, 50 cm et 130 cm au-dessous du point de libération du trièdre (vitesse initiale nulle), l'erreur due au freinage atteindrait -8×10^{-8} ($-0,08 \text{ mGal}$) avec un montage comme le nôtre dans un vide de $1 \times 10^{-3} \text{ N}/\text{m}^2$ ($7,5 \times 10^{-3} \text{ mmHg}$).

Point de référence non perturbé

La figure 5 montre les parties principales du dispositif fournissant le point de référence non perturbé que nous utilisons actuellement pour la mesure de g . Ce point de référence est le sommet d'un trièdre (masse 70 g) suspendu, par une chaîne métallique dont les oscillations transversales sont amorties, au centre de la masse (2 kg) du pendule d'un sismomètre vertical à longue période (≈ 30 s).

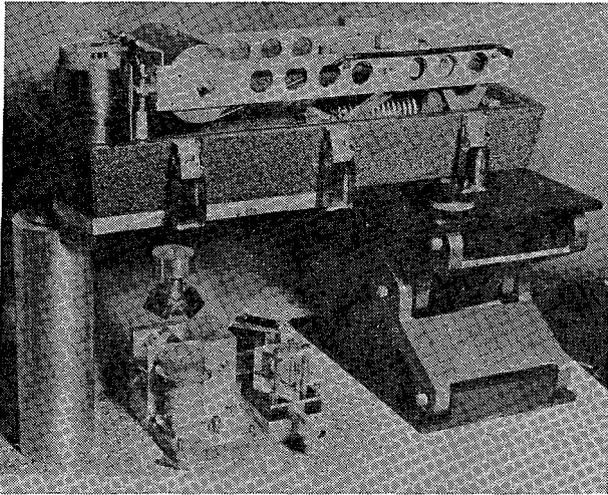


Fig. 5. — Sismomètre interférentiel à longue période (≈ 30 s) fournissant le point de référence non perturbé.

Sensibilité $\approx 0,1$ nm; accélération parasite $\approx 10^{-9}$ g .

Le trièdre et le sismomètre sont maintenus sous pression réduite dans un caisson étanche, calorifugé et blindé contre les champs magnétiques et électrostatiques; l'équilibrage du pendule se fait par variation de la poussée de l'air dans le caisson. Le trièdre fait partie d'un interféromètre de Michelson installé sur un bâti rigide et fixé, ainsi que le sismomètre, sur le caisson à vide horizontal dont on veut mesurer les déplacements verticaux. Les déplacements de l'interféromètre par rapport au trièdre suspendu sont enregistrés à l'aide des interférences d'une radiation monochromatique du mercure ($\lambda = 436$ nm) en utilisant deux photodétecteurs disposés de telle façon que leurs réponses en fonction de la différence de marche soient déphasées entre elles d'un quart de longueur d'onde.

Sur le pendule du sismomètre est fixée une bobine placée dans le champ d'un aimant; une résistance d'amortissement critique de 10 k Ω environ est branchée aux bornes de la bobine; pendant la mesure de g , ce circuit doit être ouvert afin de supprimer le couplage par induction entre la bobine et l'aimant. Le pendule du sismomètre et le trièdre réalisent ainsi un système inertiel sur lequel les accélérations parasites ($\approx 10^{-9}$ g) sont environ le centième de celles du caisson à vide horizontal, à la fréquence de 0,2 Hz. L'étalonnage du sismomètre montre qu'un courant électrique de 0,1 nA passant dans la bobine, correspondant au courant induit par une vitesse

relative de 10 nm/s lorsque la résistance est branchée, produirait une accélération de $1 \times 10^{-9} g$ sur le pendule.

Déformation des franges achromatiques de superposition ⁽³⁾

L'existence d'une déformation des franges achromatiques de superposition entre un étalon de Perot-Fabry et un interféromètre de Michelson, lorsque la différence de marche varie rapidement dans ce dernier (voir Rapport 1968, p. 47), a été confirmée expérimentalement; on a utilisé pour cette étude l'appareil de mesure de g et un trièdre catapulté à une vitesse de 6 m/s.

Nous avons conclu que pour la mesure de g par la détection du passage d'un trièdre mobile à plusieurs stations, l'utilisation des franges achromatiques de superposition entre un interféromètre de Michelson et un étalon de Perot-Fabry (Rapport 1968, p. 48, *fig.* 3) n'introduirait pas d'erreurs systématiques, celles-ci étant éliminées grâce à la méthode de la double chute; mais les pointés des franges seraient beaucoup plus aléatoires en raison de leur défaut de symétrie et des pertes de lumière, la transmission *moyenne* de l'étalon de Perot-Fabry devant être très faible si l'on veut un bon contraste des franges achromatiques de superposition.

Matériel

Les principaux appareils acquis ou construits au cours de cette année sont les suivants :

- un magnétomètre (type « flux gate », modèle 101, RFL Industries, Inc., États-Unis);
- trois sismomètres à longue période (type SL-210 et type SL-220, Geotech, États-Unis);
- un enregistreur à deux voies (Sefram, France);
- une pompe à vide et ses pièges (Riber, France);
- un étalon de fréquence (type 1115c, General Radio, États-Unis);
- un générateur d'impulsions (type 1394 A, General Radio, États-Unis);
- un appareil de conditionnement d'air (Trane, France);
- une caméra d'oscilloscope (type C-31, Tektronix, États-Unis);
- quatre alimentations stabilisées (Sodilec, France; Lambda, États-Unis);
- un oscilloscope à deux voies (type R 5030, Tektronix, États-Unis).

Thermométrie (J. Bonhoure, G. Girard)

Température thermodynamique du point de congélation de l'or

On rappelle qu'il s'agit de vérifier par des mesures pyrométriques monochromatiques (longueur d'onde voisine de $1 \mu\text{m}$) et en prenant pour température de référence $630 \text{ }^\circ\text{C}$, si la valeur attribuée au point de congélation de l'or dans l'E.I.P.T., valeur qui résulte généralement de déterminations au thermomètre à gaz, est satisfaisante.

Dans le Rapport de 1969, p. 60, on a indiqué les observations faites au cours de mesures préliminaires, qui avaient essentiellement pour but

⁽³⁾ Cette étude a fait l'objet d'un mémoire présenté par J.-M. Chartier pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur du Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris.

d'éprouver le matériel : deux fours corps-noir ajustés l'un à 630 °C et l'autre à 1 064 °C, deux thermocouples platine/platine rhodié à 10 % pour le contrôle des températures des fours, un filtre interférentiel à bande passante étroite associé à un récepteur à tube photoélectrique pour la mesure du rapport des luminances des cavités rayonnantes.

Les enseignements tirés des mesures préliminaires ont permis d'apporter quelques améliorations aux installations (thermorégulation de l'eau du circuit de refroidissement des fours, montage d'un obturateur à commande pneumatique, enregistrement des réponses du récepteur, etc.) et de fixer l'organisation des mesures définitives. De nouveaux filtres interférentiels ont été achetés et l'on dispose maintenant de sept filtres dont les pics de transmission sont à peu près régulièrement répartis dans le domaine spectral allant de 0,94 à 1,06 μm ; l'étude de ces filtres a été faite avec le monochromateur à réseau du B.I.P.M.

Les mesures pyrométriques ont été effectuées en deux parties symétriques : au cours de la 1^{re} partie, le four CN 1, contrôlé par le thermocouple PtRh 4, était ajusté à 1 064 °C, alors que le four CN 2, monté avec PtRh 2, était ajusté à 630 °C; au cours de la 2^e partie CN 1, toujours associé à PtRh 4, était à 630 °C et CN 2 à 1 064 °C. La 1^{re} partie comprenait quatre séries de mesures et la 2^e partie sept séries. Avant chaque série de mesures, l'uniformité de température le long de chacune des deux cavités rayonnantes était systématiquement contrôlée.

Les résultats obtenus peuvent se résumer de la façon suivante :

— Les thermocouples PtRh 2 et PtRh 4 ont été contrôlés avant et après les mesures pyrométriques, par comparaison à deux thermocouples identiques PtRh 1 et PtRh 5 servant de référence; leur stabilité est excellente puisque, à 1 064 °C comme à 630 °C, les écarts observés n'excèdent jamais 0,05 K.

— Tous les filtres interférentiels ayant été utilisés dans chaque série de mesures, il est important de voir s'il n'y a pas d'erreur systématique liée au filtre employé; le tableau II donne les écarts ΔT des valeurs fournies par chaque filtre pour la température du point de congélation de l'or, écarts rapportés à la moyenne.

TABLEAU II

| | | | | | | | |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Filtre N° | 943 | 959 | 975 | 986 | 994 | 1 016 | 1 060 |
| $\Delta T(\text{K})$ | — 0,25 | — 0,18 | + 0,01 | — 0,19 | — 0,06 | + 0,12 | + 0,54 |

Les numéros des filtres correspondant approximativement aux longueurs d'onde (en nm), ces valeurs sembleraient indiquer qu'il y a une corrélation entre la longueur d'onde moyenne du rayonnement transmis par le filtre et ΔT , corrélation qui pourrait être due aux défauts d'étalement des filtres. A titre d'exemple, pour le filtre 1060, il existe en dehors du pic principal et assez loin vers les courtes longueurs d'onde une bande de transmission parasite estimée à 0,04 %; ce sont donc des rapports d'énergie supérieurs à 1 000 que l'on doit mesurer à la sortie du monochromateur avec un photomultiplicateur; or une erreur tout à fait plausible de 50 % sur la transmission de cette bande parasite conduirait dans ce cas particulier à une variation de 0,5 K sur ΔT . Les autres filtres ne présentent heureuse-

ment pas de défaut similaire, mais l'établissement de leur courbe de transmission reste un problème délicat.

— Le récepteur utilisé au cours des mesures pyrométriques est un tube photoélectrique à cathode CsAgO; compte tenu du disque diviseur de luminance (par un facteur quatre), le récepteur doit déterminer des rapports de luminances pouvant atteindre 60. L'étude de la linéarité avec un dispositif approprié n'a pas donné d'écart qui puisse entraîner une incertitude supérieure à 0,1 K sur la température du point de congélation de l'or.

— L'uniformité de température le long des cavités rayonnantes n'a pas toujours été aussi bonne qu'on le désirait, en particulier au cours des cinq dernières séries de mesures. Pour tenir compte de ce défaut d'uniformité, on peut appliquer une correction en s'appuyant sur les calculs théoriques de E. M. Sparrow ⁽⁴⁾; dans ces conditions, les onze séries de mesures sont en accord à $\pm 0,15$ K et il n'y a pas d'écart significatif entre la 1^{re} et la 2^e parties des mesures pyrométriques.

Nous estimons prématuré de donner dans ce Rapport la valeur à assigner au point de congélation de l'or, le résultat provisoire que nous avons obtenu devant être précisé par de nouvelles mesures. Pour le moment, nous pouvons seulement indiquer que ce résultat provisoire, fondé sur la moyenne des sept filtres interférentiels, semble confirmer la valeur adoptée dans l'E.I.P.T. - 1968.

Études courantes

Outre les vérifications de routine des instruments du Bureau International, on a effectué :

— l'étalonnage de 13 thermomètres à mercure (0-100 °C), de 3 thermomètres à résistance de platine et de 2 thermocouples Pt/Pt-Rh à 10 % pour l'Institut de Métrologie de Roumanie;

— la vérification de 2 thermomètres à mercure destinés à équiper deux manobaromètres Jaeger identiques à celui du B.I.P.M.

Manométrie (J. Bonhoure)

Manobaromètres interférentiels

Deux appareils identiques au prototype installé au B.I.P.M. en 1966 sont en cours de construction aux Établissements Jaeger à Levallois; l'un des appareils doit être installé à l'Istituto Termometrico Italiano à Turin et l'autre est destiné à la Direction Technique des Constructions Aéronautiques à Brétigny (France).

Le B.I.P.M. participe à ces réalisations, en assurant les contrôles et les étalonnages jugés nécessaires; on a ainsi vérifié la qualité des divers éléments optiques qui constituent l'interféromètre (séparatrice et compensatrice, miroirs, dièdres, trièdres) ou qui sont traversés par les faisceaux lumineux (glaces de fermeture des chambres manométriques). Pour la mesure des températures, on a étalonné deux thermomètres à mercure et fourni les thermocouples cuivre-constantan avec pastilles métalliques aux soudures

⁽⁴⁾ Radiant emission characteristics of nonisothermal cylindrical cavities. *Appl. Optics*, 4, 1965, p. 41.

pour faciliter les contacts thermiques. On doit encore étalonner deux réglettes de 0,20 m et effectuer ensuite le réglage des interféromètres.

Études courantes

Un baro-altimètre à projection optique (Établissements Jaeger, Levallois) et une balance de pression Bell et Howell (Institut National de Métrologie, Paris) ont été étalonnés à l'aide de notre manobaromètre interférentiel.

Électricité (G. Leclerc)

12^{es} comparaisons des étalons nationaux de résistance et de force électromotrice

Les 12^{es} comparaisons internationales des étalons électriques, qui feront l'objet de deux rapports détaillés au Comité Consultatif d'Électricité, et les mesures annexes qu'elles entraînent ont constitué la principale activité de la section d'Électricité durant l'année écoulée. Trente étalons de résistance de 1 Ω et soixante-dix piles au sulfate de cadmium, du type saturé, représentant les dix laboratoires nationaux suivants : D.A.M.W. (Berlin), P.T.B. (Braunschweig), N.B.S. (Washington), N.S.L. (Chippendale), N.R.C. (Ottawa), L.C.I.E. (Fontenay-aux-Roses), I.E.N. (Turin), E.T.L. (Tokyo), N.P.L. (Teddington) et I.M.M. (Leningrad), ont été simultanément rassemblés à Sèvres.

Comme lors des précédentes comparaisons la plupart des laboratoires nous ont envoyé des piles nues, transportées dans des emballages non climatisés; cependant, le N.R.C. a utilisé comme étalons de force électromotrice voyageurs quatre piles conservées en permanence à 30 °C dans une enceinte thermorégulée. Quant au N.B.S., il a d'abord fait parvenir six piles nues (groupe N° 1) qui ont été engagées dans la comparaison principale puis, quelques mois plus tard, quatre autres piles constamment maintenues à 30 °C (groupe N° 2) pour faire un second rattachement de $V_{\text{NBS-69}}$ à $V_{\text{69-BI}}$.

Le B.I.P.M. a engagé dans les comparaisons cinq des six étalons de résistance qui conservent $\Omega_{\text{69-BI}}$ et deux groupes de six piles.

Toutes les piles, sauf celles qui étaient dans des enceintes thermorégulées, ont été immergées dans le nouveau bain d'huile décrit dans le Rapport de 1968, p. 53; ce bain nous a donné entière satisfaction (uniformité de la température au moins égale à 0,000 5 K).

Les comparaisons proprement dites ont été effectuées par un seul observateur.

Les schémas de comparaison utilisés jusqu'ici pour les résistances et les groupes de piles avaient été choisis en raison de la simplicité des calculs de réduction auxquels ils conduisaient. Comme nous disposons maintenant d'un ordinateur pour résoudre rapidement les systèmes d'équations linéaires, nous avons pu adopter des schémas de comparaison plus rationnels. Les programmes de réduction des observations ont été mis au point par P. Carré et J. Milobedzki.

Les étalons de résistance ont été comparés suivant un schéma en rectangle comprenant cinq rangées de sept étalons. Ce schéma, qui fournit 70 équations de condition, a été choisi parmi six schémas établis *a priori*, parce qu'il conduisait, pour un même nombre de mesures, aux incertitudes les plus faibles; cette étude préliminaire a été faite par P. Carré. Les mesures

« aller » ont été effectuées du 15 décembre 1969 au 17 janvier 1970 et les mesures « retour » du 16 février au 15 mars 1970.

Les douze groupes de piles ont été comparés l'un à l'autre dans toutes les combinaisons possibles, ce qui fournit 66 équations de condition. Les mesures « aller » ont été effectuées du 12 au 30 janvier et les mesures « retour » du 2 au 20 février 1970.

Les équations de condition, traitées par la méthode des moindres carrés, ont permis d'exprimer les valeurs des étalons voyageurs en fonction des « unités » conservées par le B.I.P.M., avec des écarts-types de l'ordre de $0,04 \mu\Omega$ pour les résistances et $0,035 \mu\text{V}$ pour les piles.

Le groupe voyageur N° 2 du N.B.S. (constitué des piles conservées à 30°C) n'est demeuré à Sèvres que quelques semaines (10 février au 17 mars 1970) pendant lesquelles il a été comparé aux groupes du B.I.P.M. et à la plupart des autres groupes voyageurs. La valeur de ce groupe N° 2, exprimée en fonction de l'« unité » de force électromotrice conservée par le B.I.P.M., a été déduite de l'ensemble de ces mesures et l'on a obtenu :

$$V_{\text{NBS-69}} = V_{69\text{-BI}} + 0,17 \mu\text{V};$$

avec le groupe N° 1 (constitué des six piles non thermorégulées) on avait obtenu :

$$V_{\text{NBS-69}} = V_{69\text{-BI}} + 0,13 \mu\text{V}.$$

Ces deux résultats sont en excellent accord; cependant, à la demande du

TABLEAU III

Écarts des « unités » nationales de résistance électrique par rapport à l'« unité » conservée par le B.I.P.M. ($\Omega_{69\text{-BI}}$) (1^{er} février 1970)

| | | |
|---|---------------------------|--|
| Allemagne { [D.A.M.W.] | Ω_{DAMW} | $= \Omega_{69\text{-BI}} + 0,10 \mu\Omega$ |
| { [P.T.B.] | $\Omega_{\text{PTB-69}}$ | $= + 0,3_3$ |
| Amérique (États-Unis d') [N.B.S.] | Ω_{NBS} | $= + 0,0_3$ |
| Australie [N.S.L.] | $\Omega_{\text{NSL-69}}$ | $= + 0,2_9$ |
| Canada [N.R.C.] | $\Omega_{\text{NRC-69}}$ | $= - 0,4_7$ |
| France [L.C.I.E.] | $\Omega_{\text{LCIE-69}}$ | $= + 0,3_0$ |
| Italie [I.E.N.] | Ω_{IEN} | $= + 0,7_8$ |
| Japon [E.T.L.] | Ω_{ETL} | $= - 0,1_9$ |
| Royaume-Uni [N.P.L.] | $\Omega_{\text{NPL-69}}$ | $= + 0,3_1$ |
| U.R.S.S. [I.M.M.] | Ω_{IMM} | $= - 0,0_1$ |

TABLEAU IV

Écarts des « unités » nationales de force électromotrice par rapport à l'« unité » conservée par le B.I.P.M. ($V_{69\text{-BI}}$) (1^{er} février 1970)

| | | |
|---|----------------------|--|
| Allemagne { [D.A.M.W.] | V_{DAMW} | $= V_{69\text{-BI}} + 2,4_9 \mu\text{V}$ |
| { [P.T.B.] | $V_{\text{PTB-69}}$ | $= - 0,2_6$ |
| Amérique (États-Unis d') [N.B.S.] | $V_{\text{NBS-69}}$ | $= + 0,1_7$ |
| Australie [N.S.L.] | $V_{\text{NSL-69}}$ | $= + 0,0_0$ |
| Canada [N.R.C.] | $V_{\text{NRC-69}}$ | $= + 0,1_0$ |
| France [L.C.I.E.] | $V_{\text{LCIE-69}}$ | $= + 0,2_3$ |
| Italie [I.E.N.] | $V_{\text{IEN-69}}$ | $= + 0,0_4$ |
| Japon [E.T.L.] | $V_{\text{ETL-69}}$ | $= + 0,5_1$ |
| Royaume-Uni [N.P.L.] | $V_{\text{NPL-69}}$ | $= + 0,6_9$ |
| U.R.S.S. [I.M.M.] | $V_{\text{IMM-70}}$ | $= + 2,1_6$ |

N.B.S., seul le résultat fourni par le groupe N° 2 a été retenu dans le tableau IV.

Les résultats des 12^{es} comparaisons des étalons nationaux sont rassemblés dans les tableaux III et IV.

Ces résultats montrent qu'à la suite des ajustements effectués au 1^{er} janvier 1969 par les laboratoires et le Bureau International, les « unités » nationales concordent maintenant d'une façon beaucoup plus satisfaisante.

Par ailleurs, l'utilisation de piles conservées en permanence à la même température dans une enceinte thermorégulée pour effectuer le transfert du « volt » s'est révélée bénéfique :

1° la dispersion des résultats fournis par les différentes piles est plus faible que celle observée avec des piles transportées sans précaution thermique (par exemple pour le N.B.S. : écart quadratique moyen $0,075 \mu\text{V}$ pour le groupe N° 2 et $0,199 \mu\text{V}$ pour le groupe N° 1);

2° la force électromotrice de chaque pile mesurée après son retour au laboratoire d'origine diffère peu de la force électromotrice mesurée avant son départ (quelques dixièmes de microvolt au maximum);

3° la mesure des piles du groupe voyageur N° 2 du N.B.S. a pu être faite en quelques semaines (les piles n'ayant pas eu besoin d'être stabilisées après leur transport).

Ces constatations confirment que l'emploi d'enceintes thermorégulées permettrait vraisemblablement d'améliorer la précision des comparaisons des étalons nationaux de force électromotrice.

Comparaison circulaire des étalons de capacité en silice de 10 pF

Aucun résultat nouveau ne nous a été communiqué depuis le Rapport de 1969.

Après avoir été remesurés par le N.B.S. en mai et juin 1969, les trois condensateurs voyageurs ont été envoyés à l'I.M.M. (Leningrad) où ils se trouvent actuellement. Ils seront ensuite étudiés au D.A.M.W. (Berlin) avant de retourner au N.B.S. (Washington).

Comparaisons circulaires d'instruments dans le domaine des radiofréquences

La situation actuelle de ces comparaisons, pour lesquelles le Bureau International assure le secrétariat, est la suivante.

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

a. Comparaison d'instruments de mesure des faibles puissances à 3 GHz : le N.B.S. (laboratoire pilote de cette comparaison) nous a transmis récemment son rapport final qui a reçu l'accord des laboratoires participants. Ce rapport sera publié dans les comptes rendus des travaux de la prochaine session du Comité Consultatif d'Électricité.

b. Paramètres diélectriques à 10 GHz : cette comparaison est terminée depuis longtemps, mais le rapport final du laboratoire pilote ne nous est pas encore parvenu.

c. Comparaison d'instruments de mesure des faibles puissances à 10 GHz : cette comparaison, dont l'achèvement était prévu en 1970, se poursuit du fait que deux nouveaux laboratoires ont été ajoutés à la liste des participants

primitivement engagés. Les instruments voyageurs sont actuellement au N.R.C.; ils seront ensuite étudiés à l'I.E.N. L'E.T.L., laboratoire pilote, pense que la comparaison s'achèvera en 1971.

d. Même comparaison que la précédente avec l'I.M.M. (ou l'I.M.P.R.) comme laboratoire pilote: bien que le B.I.P.M. n'ait reçu aucune information du laboratoire pilote, il semble que des instruments aient déjà été étudiés successivement à l'I.M.P.R., à l'E.T.L. et au L.C.I.E.

Quant aux comparaisons parallèles (c'est-à-dire organisées directement entre les laboratoires) nous savons qu'un échange d'instruments de mesure des faibles puissances à 10 GHz a déjà eu lieu entre l'I.M.P.R. et le L.C.I.E. et qu'une comparaison entre le N.R.C., la P.T.B. et le L.C.I.E. sera entreprise vers la fin de 1970.

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

a. Mesure de tension à 1 GHz (laboratoire pilote N.B.S.): nous supposons que la comparaison est en cours bien que nous n'en ayons pas reçu confirmation.

b. Mesure d'affaiblissement à 30 MHz: après avoir été soigneusement étudiés pendant plusieurs mois par le laboratoire pilote (N.S.L.), les instruments voyageurs engagés dans la comparaison par le N.R.C., l'E.T.L. et le N.S.L. ont été récemment envoyés à l'E.T.L. (Japon) qui prévoit d'entreprendre leur mesure dès la fin de septembre 1970. Ainsi qu'il le souhaitait, l'Office National des Mesures de Hongrie a été ajouté à la liste des participants à cette comparaison.

c. Mesure d'affaiblissement à 10 GHz, sur guide d'ondes (laboratoire pilote R.I.N.D.): cette comparaison, dans laquelle sont engagés neuf laboratoires, a débuté en mai 1970 suivant le plan prévu dans la lettre circulaire du laboratoire pilote adressée le 4 février 1970 à tous les participants. Sur sa demande, l'Office National des Mesures de Hongrie participe à cette comparaison tandis que le N.P.L. s'est fait remplacer par le Royal Radar Establishment.

d. Mesure d'affaiblissement jusqu'à 8 GHz, en coaxial (laboratoire pilote N.P.L.): tenant compte des réponses à sa circulaire du 7 juillet 1969, le laboratoire pilote a adressé le 18 juin 1970 à tous les participants le programme de la comparaison qui devrait commencer en décembre 1970.

e. Mesure d'affaiblissement jusqu'à 8 GHz, sur guide d'ondes: après enquête du laboratoire pilote (N.R.C.) auprès des laboratoires intéressés, il a été décidé que les mesures auraient lieu à une seule fréquence (3 GHz). Par ailleurs, les mesures d'affaiblissement à 10 GHz actuellement en cours utilisant, dans la plupart des cas, les mêmes dispositifs de mesure et les mêmes étalons de référence, il a paru raisonnable au N.R.C. d'attendre l'achèvement des mesures à 10 GHz avant d'entreprendre celles à 3 GHz. Le B.I.P.M. consulté a donné son accord à cette suggestion.

Études courantes

Une quarantaine de piles et cinq étalons de résistance ont été étalonnés pour les laboratoires suivants: Laboratoire Central des Industries Électriques (France), Centre National d'Études Spatiales (France), Norske Justervesen (Norvège), Institut de Métrologie (Roumanie), Urad pro Normalizaci (Tchécoslovaquie), National Physical Laboratory (Royaume-

Uni), Compagnie Générale de Métrologie (France), Office National des Mesures (Hongrie), Institut de Recherche de la Défense Nationale (Suède).

Photométrie (J. Bonhoure, C. Garreau)

5^e comparaison des étalons nationaux d'intensité et de flux lumineux

Dans le Rapport de 1969, p. 65, on a indiqué dans quelles conditions la 5^e comparaison internationale des étalons photométriques a été effectuée en 1968-1969; on a également mentionné quelques remarques qui résultaient des seules mesures faites au B.I.P.M., en attendant le retour des étalons nationaux dans leurs laboratoires d'origine. La situation n'a évolué que très lentement puisque certains étalons sont encore à Sèvres; il n'est donc toujours pas possible d'établir le rapport définitif sur cette comparaison.

Installations de mesure

Le Bureau International disposait déjà depuis plusieurs années de quelques alimentations stabilisées transistorisées, utilisées concurremment avec les accumulateurs pour l'alimentation des lampes. Ces alimentations stabilisées nous ayant donné entière satisfaction (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 36, 1968, p. 60), nous avons acheté de nouveaux éléments 40 V, 10 A; les six éléments dont dispose maintenant le B.I.P.M. sont suffisants et permettent l'abandon définitif des accumulateurs au plomb.

Études courantes

Soixante-huit lampes ont été réglées en température de couleur et étalonnées en candelas ou en lumens pour l'Institut de Métrologie (Roumanie), le Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (Autriche), le Laboratoire Central d'Électricité (Belgique) et l'Urad pro Normalizaci (Tchécoslovaquie).

En outre, des lampes de flux lumineux (2 793 K) ont été formées et étalonnées en vue de constituer un groupe d'usage courant au B.I.P.M.

Rayons X et γ

Détermination de l'exposition dans un faisceau de rayons γ du ^{60}Co à l'aide d'une chambre à cavité (M.-T. Niatel)*

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 est en cours.

a) *Correction pour la recombinaison des ions.* — La variation du courant d'ionisation I en fonction de la tension collectrice V a été étudiée pour différentes pressions p . La figure 6, qui donne les courbes $p/I = f(1/V)$, montre que l'extrapolation du courant pour un champ collecteur infini devient douteuse pour les pressions inférieures à quelques 10^4 N/m². Diverses interprétations de ce phénomène sont possibles: début du phénomène de multiplication des ions, effet Greening (voir paragraphe b); elles ne permettent malheureusement pas de réduire cette incertitude.

b) *Correction de pouvoir de ralentissement.* — C'est une des principales causes d'erreur pour les mesures avec les chambres à cavité. La théorie de

Spencer-Attix, qui tient compte des pertes discontinues d'énergie dans le calcul du rapport des pouvoirs de ralentissement, prévoit que le courant d'ionisation massique doit varier avec les dimensions de la cavité ou la pression du gaz qu'elle contient. Les mesures effectuées dans l'air avec des chambres de graphite ont mis en évidence une variation de l'ionisation massique avec la pression (ou la masse volumique) beaucoup plus importante que prévu. La figure 7 donne la variation du courant d'ionisation

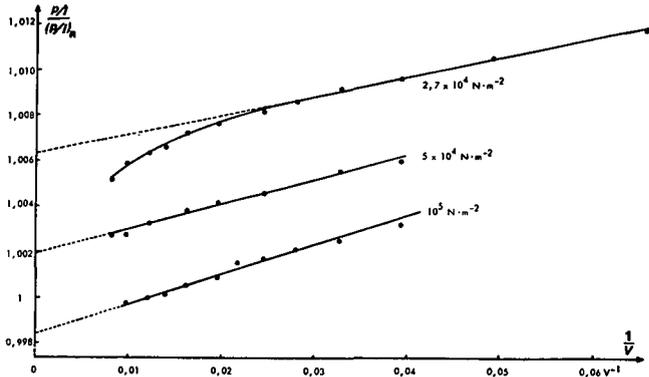


Fig. 6. — Valeurs relatives $\frac{P}{I} = f\left(\frac{1}{V}\right)$ à différentes pressions p .

I = courant d'ionisation; V = tension collectrice; $\left(\frac{P}{I}\right)_R$ est une référence arbitraire.

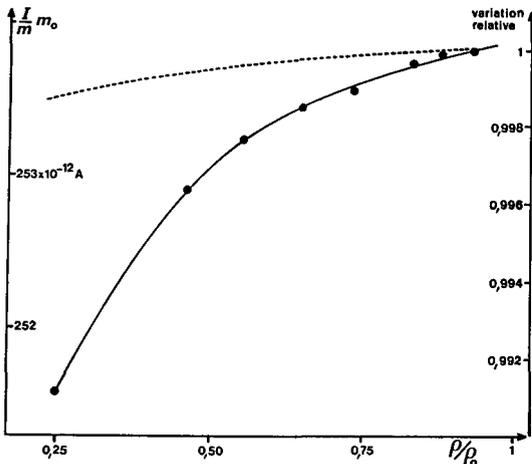


Fig. 7. — Variation de l'ionisation massique $\frac{I}{m}$ en fonction de la masse volumique ρ de l'air.

— courbe expérimentale
 - - - - - théorie de Spencer-Attix

La masse m et la masse volumique ρ de l'air contenu dans la cavité sont rapportées à leurs valeurs m_0 et ρ_0 dans les conditions de référence (0 °C, 10^5 N/m²).

massique I/m en fonction de la masse volumique ρ de l'air contenu dans la cavité. Cette figure indique une différence significative avec la théorie, même en tenant compte des difficultés relatives à la saturation.

Ces résultats sont à interpréter avec prudence, en particulier à cause des phénomènes qui se manifestent au voisinage des pressions nulles (effet Greening). Dans le vide, en l'absence de tension collectrice, il existe un transfert d'électrons entre les parois; la présence d'une tension provoque un excédent de ce courant d'électrons, excédent qui s'accroît dans le cas d'une faible pression. D'autre part, à faible pression, des électrons produits dans le gaz peuvent aller se perdre sur la plaque négative, cette perte de courant croissant au début avec la pression. A cause de ces phénomènes, d'ailleurs mal connus, la variation de I en fonction de p au voisinage de zéro a une allure très différente de la droite idéale de Bragg-Gray (I proportionnel à p). La figure 8 indique à la fois la variation expérimentale observée

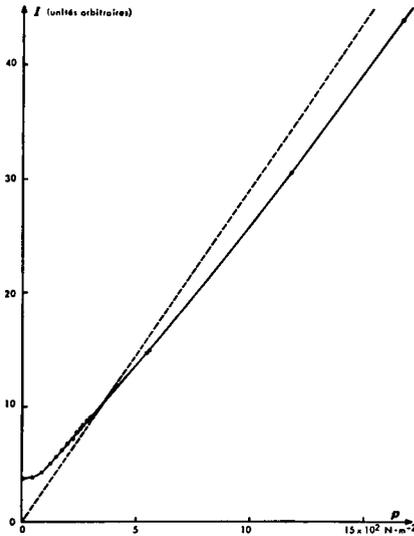


Fig. 8. — Variation du courant d'ionisation I pour les faibles pressions p (tension collectrice + 20 V).

— courbe expérimentale

- - - - droite $I = kp$, où $k = \frac{I}{p}$ mesuré à la pression atmosphérique.

et la droite $I = kp$ dont la pente est déterminée d'après les mesures effectuées à la pression atmosphérique. Ces perturbations au voisinage de $p = 0$ peuvent entraîner un écart systématique non négligeable entre l'ionisation massique qui est la pente de la droite joignant l'origine au point de coordonnées (ρ, I) et la pente de la tangente en ce point à la courbe I fonction de ρ . Cette dernière quantité est celle qui nous intéresse, mais il est difficile de la déterminer avec précision et de mettre en évidence ses variations avec la pression. Les mesures seront étendues prochainement à des pressions supérieures à la pression atmosphérique afin de réduire

l'influence des perturbations au voisinage de $p = 0$; la pression sera mesurée à l'aide d'un manomètre à piston tournant.

c) *Corrections pour l'atténuation et pour le rayonnement diffusé par les parois de la chambre.* — Des mesures sont actuellement en cours. La correction d'atténuation sera effectuée selon le procédé étudié par A. Brosed (Rapport 1967, p. 64). Une chambre d'étude est en construction; elle permettra de déterminer la contribution des parois latérales en faisant varier l'épaisseur de ces parois.

d) *Correction due à l'épaisseur de la cavité.* — La théorie de cette correction a été étudiée par M. Boutillon (Rapport 1969, p. 73). La chambre d'étude prévue permettra de vérifier expérimentalement la variation de cette correction en fonction de la distance chambre-source. Le calcul prévoit une variation de $2,1 \times 10^{-3}$ quand la distance croît de 1 m à 2 m.

La chambre actuellement utilisée comme étalon provisoire est la deuxième chambre décrite dans le Rapport de 1969, p. 75; les faces antérieure et postérieure ont été collées sur l'anneau central et la détermination du volume de la cavité a été achevée après le collage.

La Section I (Mesure des rayons X et γ) du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants a décidé, lors de sa réunion d'avril 1970, l'organisation de comparaisons internationales d'étalons de mesure de l'exposition dans un faisceau de rayons γ du ^{60}Co . Dans le cadre de ces comparaisons, un physicien du N.B.S. viendra en octobre 1970 mesurer l'exposition dans un plan de référence du faisceau du B.I.P.M., au moyen de la chambre étalon du N.B.S. La valeur obtenue sera comparée à celles que donneront, ultérieurement, d'autres étalons nationaux et à la valeur, actuellement provisoire, mesurée par le B.I.P.M.

Comparaison de condensateurs (D. Carnet, M.-T. Niatel)*

Pour les déterminations absolues de débits d'exposition dans un faisceau de rayons X ou γ , il est nécessaire de connaître la capacité du condensateur de mesure qui se charge lors de la production d'ionisation. Les condensateurs au polystyrène que nous utilisons étaient, ces dernières années, comparés à deux condensateurs à air (1 000 et 80 pF) prêtés par le N.B.S. en 1961. Cette détermination s'effectuait en chargeant les deux condensateurs à comparer de quantités d'électricité égales et en mesurant les tensions appliquées pour obtenir l'équilibre.

Depuis décembre 1969, il nous est possible de mesurer directement nos condensateurs et ceux du N.B.S. en utilisant le pont General Radio de la section d'Électricité du B.I.P.M. Des écarts de l'ordre de 5×10^{-4} avec les valeurs mesurées au N.B.S. en 1961 ayant été constatés, deux autres condensateurs à air de 1 000 et 80 pF, étalonnés par le N.B.S. en mars 1970, nous ont été envoyés pour nous permettre de contrôler nos mesures. Pour ces deux nouveaux condensateurs les valeurs trouvées au B.I.P.M. sont inférieures de 2×10^{-5} à celles du N.B.S. Ces différences sont significatives compte tenu de la statistique des mesures. Elles peuvent provenir du manque d'exactitude du pont lui-même, susceptible d'atteindre 10^{-4} , principalement à cause de l'étalon de capacité interne du pont. D'autre part, les conditions de température et d'humidité n'étant sans doute pas les mêmes dans les deux laboratoires (celles du N.B.S. ne nous sont pas connues), cette cause suffirait à elle seule à expliquer les écarts observés.

Une étude systématique de l'influence de la température et de l'humidité sur ces deux condensateurs a en effet montré des variations relatives de $+ 25 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ et de $+ 2 \times 10^{-6}$ par pour cent d'humidité relative.

D'autre part, nos condensateurs au polystyrène sont maintenant contrôlés chaque jour au pont General Radio, avant et après les mesures d'ionisation. Les coefficients de variation relative ($- 1,25 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ et $+ 10^{-4}$ par % d'humidité relative) sont beaucoup plus élevés dans ce cas; les variations de température et d'humidité de l'air conditionné ont donc une influence appréciable sur les valeurs des capacités. Les contrôles actuels ont permis de réduire de $4,5 \times 10^{-4}$ à $1,2 \times 10^{-4}$ l'écart-type à long terme pour les mesures journalières d'ionisation massique.

En ce qui concerne les déterminations absolues de l'ionisation, il convient d'appliquer une correction aux valeurs des capacités des condensateurs au polystyrène déterminées à l'aide du pont car l'influence de la fréquence utilisée pour la mesure n'est pas négligeable. L'extrapolation à fréquence nulle est quelque peu incertaine; comme la capacité des condensateurs à air ne présente pas (à la précision dont nous avons besoin) de variation appréciable avec la fréquence, on a déterminé le rapport $\frac{C(\text{polystyrène})}{C(\text{air})}$

soit par la méthode indiquée plus haut (charges égales pour les deux condensateurs), soit en mesurant chacun des deux condensateurs avec le pont. La différence entre les deux valeurs du rapport donne la correction à appliquer lorsqu'on utilise la valeur $C(\text{polystyrène})$ mesurée sous tension alternative. Cette correction est de $+ 8,3 \times 10^{-4}$ pour des condensateurs de l'ordre de 1 000 pF mesurés à 1 000 Hz.

Comparaison de deux sources de ^{60}Co de l'ordre de 1 Ci (A.-M. Roux)*

La source de ^{60}Co dont l'activité a été déterminée l'an dernier (Rapport 1969, p. 66) a été comparée à une source de ^{60}Co de mêmes dimensions et d'activité très voisine appartenant au National Bureau of Standards. Une valeur de l'activité de la source du N.B.S. a été déduite et comparée au résultat des mesures calorimétriques effectuées précédemment au N.B.S.

Le dispositif expérimental utilisé est celui qui a été mis au point pour la détermination du rapport des activités des sources de 1 Ci et 2 mCi (Rapport 1969, p. 67) mais, dans le cas présent, les deux sources sont placées à la même distance du détecteur (environ 23 m) puisque leurs activités sont voisines. Un dispositif permettant de stocker les sources et de placer l'une d'elles sur l'axe géométrique défini par les collimateurs et le détecteur a été installé à l'intérieur d'une protection de plomb. Les sources sont placées chacune dans une tige et sont stockées dans la partie inférieure de la protection de plomb. Un vérin pneumatique permet de monter la source choisie et de la placer automatiquement sur l'axe. On utilise un comparateur mécanique pour contrôler la reproductibilité de la position de chaque source et l'identité des deux positions; les différences observées n'excèdent pas 0,04 mm le long de l'axe et 0,02 mm transversalement. Les distances source-détecteur peuvent donc être considérées comme égales. Les faisceaux étant géométriquement identiques, le rapport des activités des deux sources $A_{\text{NBS}}/A_{\text{BIPM}}$ est égal au rapport des taux de comptage $N_{\text{NBS}}/N_{\text{BIPM}}$ mesurés avec le détecteur.

Deux séries de déterminations de ce rapport (l'une de 12, l'autre de 7 déterminations) ont été effectuées à trois mois d'intervalle. Les moyennes

de ces deux séries sont compatibles entre elles. La moyenne générale de ces mesures, donnée avec une erreur aléatoire égale à deux fois l'écart-type, est :

$$\frac{N_{\text{NBS}}}{N_{\text{BIPM}}} = 1,0055 \pm 0,0003.$$

Les erreurs systématiques sur le rapport des activités proviennent des différences éventuelles dans l'épaisseur des tiges porte-sources et des capsules. L'erreur ainsi introduite est estimée à 6×10^{-4} . L'activité de la source du N.B.S. est déduite de ces résultats en prenant pour A_{BIPM} la valeur 737,17 mCi donnée dans le Rapport de 1969. D'où :

$$A_{\text{NBS}} = 741,22 \text{ mCi le 20 mai 1969, à 11 h 00 TU.}$$

Cette valeur, rapportée à la date de référence choisie par le N.B.S., devient :

$$A_{\text{NBS}} = 0,9602 \text{ Ci le 1}^{\text{er}} \text{ juin 1967, à 16 h 00 TU.}$$

La valeur utilisée pour la période du ^{60}Co est $(5,269 \pm 0,010)$ ans. Les erreurs estimées sur A_{NBS} sont rassemblées dans le tableau V.

TABLEAU V

| Erreurs sur | Erreurs systématiques | Erreurs aléatoires (2 écarts-types) |
|--|--------------------------------------|---|
| $\frac{A_{\text{NBS}}}{A_{\text{BIPM}}}$ | $0,6 \times 10^{-3}$ | $0,3 \times 10^{-3}$ |
| A_{BIPM} | $1,9 \times 10^{-3}$ | $0,6 \times 10^{-3}$ |
| Correction de décroissance ... | $0,5 \times 10^{-3}$ | |
| A_{NBS} au 1.6.1967 | $3,0 \times 10^{-3}$ | $0,7 \times 10^{-3}$ |
| | (Somme des erreurs systématiques) | (Somme quadratique des erreurs aléatoires) |

La valeur A_{NBS} que nous avons déterminée diffère de 2×10^{-3} par rapport à celle qui a été obtenue au N.B.S. par des mesures avec un calorimètre à absorption totale. En tenant compte des erreurs cet écart n'est pas significatif. Une nouvelle série de mesures calorimétriques envisagée après le retour de la source au N.B.S. permettra de confirmer cet écart et de préciser l'erreur introduite par la correction de décroissance.

On peut cependant déjà conclure que la méthode de mesure de l'activité d'une source de 1 Ci que nous avons mise au point est compétitive avec la méthode calorimétrique.

Comparaisons de deux chambres d'ionisation (étalons d'exposition) dans le domaine des rayons X mous (M. Boutillon)*

Des comparaisons ont eu lieu en juin 1970 au B.I.P.M. entre les étalons d'exposition du National Institute for Radiation Protection (N.I.R.P., Stockholm, Suède) et du B.I.P.M. Les conditions expérimentales étaient les mêmes qu'en 1966 et 1968 lors des comparaisons entre les étalons du N.B.S., du N.R.C., du R.I.V. et du B.I.P.M. (voir *Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 35, 1967, p. 67 et 36, 1968, p. 61).

L'étalon d'exposition du N.I.R.P. est une chambre d'ionisation cylindrique, l'électrode collectrice et ses électrodes de garde constituant une

tige parallèle à l'axe de la chambre et excentrée de 3,2 cm. Les dimensions principales des deux étalons sont données dans le tableau VI.

TABLEAU VI
*Dimensions principales des étalons d'exposition
du B.I.P.M. et du N.I.R.P.*

| | BIPM | NIRP |
|--|--------------------|---------------------|
| Espacement des plaques (cm) | 7,0 | 6,0* |
| Largeur de la plaque collectrice (cm) | 1,546 ₆ | 1,48 ₄ |
| Diamètre du diaphragme (cm) | 0,9940 | 1,0016 ₅ |
| Distance entre le diaphragme et le centre du volume de mesure (cm) | 10,00 | 23,9 |

* Distance minimale entre l'électrode collectrice et le cylindre.

Les valeurs numériques des différents facteurs de correction (voir *Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 36, 1968, p. 61) sont consignées dans le tableau VII.

TABLEAU VII
*Facteurs de correction relatifs aux étalons d'exposition
du B.I.P.M. et du N.I.R.P.*

| | 10 kV | | 30 kV | | 50 kV | |
|----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | BIPM | NIRP | BIPM | NIRP | BIPM | NIRP |
| K_{sc} | 0,99 ₄ | 0,98 ₈ | 0,99 ₆ | 0,99 ₂ | 0,99 ₇ | 0,99 ₆ |
| K_e | 1,000 ₀ | 1,000 ₀ | 1,000 ₀ | 1,000 ₀ | 1,00 ₀ | 1,000 ₀ |
| K_s | 1,001 ₀ | 1,001 ₀ | 1,001 ₁ | 1,001 ₈ | 1,000 ₆ | 1,000 ₉ |
| K_d | 1,00 ₀ | 1,00 ₈ | 1,00 ₀ | 1,00 ₈ | 1,00 ₀ | 1,00 ₈ |
| K_f | 1,000 ₁ | 1,00 ₀ | 1,000 ₂ | 1,00 ₀ | 1,000 ₂ | 1,00 ₀ |
| K_1 | 1,000 ₀ | 1,000 ₀ | 1,000 ₀ | 1,000 ₀ | 1,000 ₃ | 1,00 ₀ |
| K_p | 1,000 ₀ |

Mesures préliminaires. — Quelques comparaisons ont été effectuées entre les diaphragmes des étalons du B.I.P.M. et du N.I.R.P., à 10, 30 et 50 kV. Les résultats consignés dans le tableau VIII montrent un bon accord entre les deux diaphragmes.

TABLEAU VIII
*Comparaison des diaphragmes des étalons d'exposition
du B.I.P.M. et du N.I.R.P.*

| Date | Valeurs de $\frac{(I/A)_{BIPM}}{(I/A)_{NIRP}}$ | | |
|--------------------------------|--|----------------------|----------------------|
| | 10 kV | 30 kV | 50 kV |
| 18.6.1970 | — | 1,001 ₁ | — |
| 18.6 | — | 1,000 ₄ | — |
| 19.6.1970 | 1,000 ₆ | — | 1,000 ₆ |
| 19.6 | 1,000 ₇ | — | 1,000 ₆ |
| Écart-type à court terme | $4,7 \times 10^{-4}$ | $0,9 \times 10^{-4}$ | $3,3 \times 10^{-4}$ |

Une estimation de la correction K_d a été faite pour l'étalon du N.I.R.P., en comparant les courants d'ionisation obtenus lorsque le diaphragme est mis à la masse ou sous haute tension. L'écart obtenu, $1,6 \times 10^{-2}$, montre une déformation assez importante du champ électrique dans la zone de mesure, et la nécessité de munir cet étalon d'un système de garde adéquat.

Résultats des comparaisons. — Des séries de quelques comparaisons ont été faites à 10, 30 et 50 kV (tableau IX). Ces mesures montrent un écart systématique d'environ $2,5 \times 10^{-2}$ aux trois qualités de rayonnement utilisées. Cet écart est vraisemblablement dû en grande partie à l'inhomogénéité du champ électrique dans la zone du volume de mesure, pour l'étalon du N.I.R.P.

TABLEAU IX
Comparaison des étalons d'exposition
du B.I.P.M. et du N.I.R.P.

| Date | Valeurs de $\frac{(\Delta X/\Delta t)_{BIPM}}{(\Delta X/\Delta t)_{NIRP}}$ | | | |
|-----------------|--|----------------------|----------------------|----------------------|
| | 10 kV | 30 kV | 50 kV | |
| 16.6.1970 | — | — | 1,023 ₄ | |
| 17.6 | 1,025 ₁ | 1,023 ₈ | 1,024 ₉ | |
| 17.6 | 1,024 ₈ | 1,023 ₈ | 1,024 ₇ | |
| 17.6 | — | 1,023 ₇ | — | |
| 18.6 | 1,027 ₅ | 1,023 ₈ | 1,025 ₀ | |
| 18.6 | 1,026 ₉ | — | 1,024 ₄ | |
| Moyenne | 1,026 | 1,024 | 1,024 | |
| Écart-type | à court terme | $5,2 \times 10^{-4}$ | $1,5 \times 10^{-4}$ | $3,5 \times 10^{-4}$ |
| | à long terme | $1,4 \times 10^{-3}$ | $0,9 \times 10^{-4}$ | $6,1 \times 10^{-4}$ |

Microdosimétrie théorique : distribution de l'énergie déposée par des neutrons à l'intérieur d'ellipsoïdes de révolution (A. Allisy, M. Boutillon*)

Quelques propriétés géométriques simples ont été utilisées pour étendre à des volumes de forme ellipsoïdale la théorie mise au point par R. S. Caswell (*Rad. Res.*, 27, 1966, p. 1) pour le calcul de la répartition de l'énergie déposée par des neutrons dans des volumes sphériques.

Cette étude et les résultats numériques auxquels elle a conduit ont été présentés au 2^e Symposium sur la Microdosimétrie organisé par Euratom à Stresa, Italie, du 20 au 24 octobre 1969 (*voir Publications extérieures*, p. 79 et *Recueil de Travaux du B.I.P.M.*, Vol. 2, 1968-1970, article N° 23).

Radionucléides

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

Étalonnage d'une solution de ⁵⁶Mn (avec V. D. Huynh et L. Lafaye). — L'étalonnage des bains de manganèse pour les mesures neutroniques est

devenu une opération dont l'organisation a été fixée une fois pour toutes, y compris le programme des calculs. Il faut prévoir 5 à 6 heures entre l'arrivée de la solution active et le début du comptage, donc près de 12 heures au total. Outre les deux sources témoins utilisées pour déterminer l'activité approximative de la solution et les dix sources mesurées comme d'habitude, on a préparé deux sources fortes pour mesurer la période. La correction dépendant du schéma de désintégration, pour laquelle nous avons toujours utilisé une valeur théorique, a été déterminée expérimentalement au moyen d'une troisième source forte.

Étalonnage de sources solides de ^{60}Co . — Une analyse soignée des mesures périodiques effectuées depuis 1963 sur quatre sources électrolytiques a montré que les mesures d'avant 1966 doivent être éliminées parce qu'elles sont incomplètes. Il ne reste donc que 21 mesures réparties sur 3,3 ans. Le calcul par la méthode des moindres carrés donne une période de $(1\,927 \pm 2)$ jours, en accord satisfaisant avec d'autres mesures récentes.

En 1968 nous avons préparé 80 sources pour la mesure de l'activité d'un grain de cobalt (voir le Rapport de 1969, p. 71). Nous avons remesuré 30 de ces sources et trouvé un accord très satisfaisant avec les résultats antérieurs en utilisant une période de 1 922 jours. Quelques mesures préliminaires faites avec le nouvel ensemble de comptage N° 3 semblent aussi en faveur de cette période plus courte. Cependant, il est prématuré d'en tirer des conclusions définitives.

Nous avons constitué un stock important de bonnes sources électrolytiques d'activités différentes pour remplacer nos anciennes sources de référence devenues trop faibles, afin de disposer de sources adaptées à la détermination de la correction dépendant du schéma de désintégration, et de pouvoir en distribuer à d'autres laboratoires.

Ainsi une soixantaine de sources ont été préparées sur des films de Vyn fortement dorés des deux côtés. La solution de ^{60}Co utilisée avait une activité massique relativement élevée de $15 \mu\text{Ci g}^{-1}$. La durée de l'électrolyse variait entre quelques secondes et une minute; les activités s'échelonnaient entre 1 000 et 20 000 désintégrations par seconde.

Étalonnage de radionucléides à schéma de désintégration plus complexe. — Nous avons choisi le ^{22}Na et le ^{134}Cs comme exemples de radionucléides dont l'étalonnage, quoique plus compliqué, pourra encore être effectué avec nos appareils. Quatre séries de dix sources de ^{22}Na ont déjà été préparées, mais les mesures ont dû être reportées jusqu'à ce que le nouvel ensemble de comptage $4\pi\beta\text{-}\gamma$ soit prêt.

Rénovation de l'ensemble N° 2 de comptage par coïncidences $4\pi\beta(\text{CP})\text{-}\gamma$. — Une partie importante de l'équipement électronique de l'ensemble N° 2 a été remplacée par de nouveaux appareils transistorisés. Seules les alimentations de haute tension, les échelles de comptage, la base de temps et l'imprimante ont été conservées, ainsi que le compteur γ et l'écran de plomb. Par contre, le compteur proportionnel a été remplacé par un autre, de construction améliorée mais de dimensions identiques. Les changements intervenus dans le système électronique ne modifient pas le schéma de principe. En somme, il n'y a que le dispositif de temps mort qui se distingue considérablement du précédent.

La diminution de la puissance électrique aura sans doute un effet favo-

rable sur les performances à long terme de ce nouvel ensemble de comptage (N° 3).

Résistance des couches conductrices des supports de sources. — Il est important que les sources introduites dans le compteur proportionnel ne déforment pas le champ électrique, afin d'assurer un comptage non perturbé. D'autre part, on a intérêt à réduire au minimum la masse de la couche conductrice déposée sur le support pour ne pas augmenter l'auto-absorption.

Dans la première partie des expériences nous avons étudié la résistance électrique entre deux points de la couche métallique évaporée sur le film de Vyns, en fonction de sa masse surfacique (*fig. 9*). La deuxième partie concernait la résistance entre un point du film métallisé et la rondelle en acier inoxydable sur laquelle le film est tendu. La troisième partie, enfin, avait pour but de connaître l'effet dû à une source radioactive déposée sur le film métallisé. Toutes ces expériences ont été effectuées avec de l'or et un

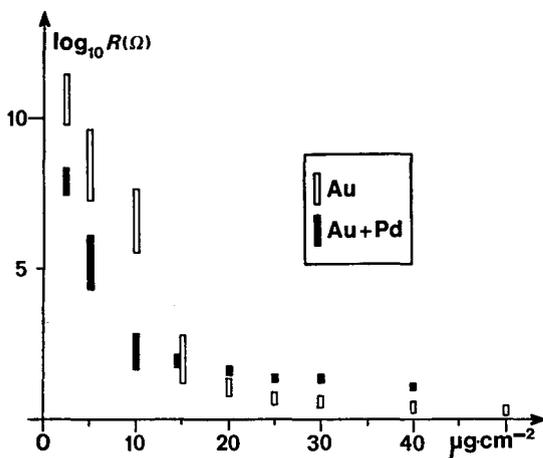


Fig. 9. — Logarithme de la résistance (en ohms) mesurée entre deux points d'un film de Vyns métallisé, en fonction de la masse surfacique.

alliage or-palladium (20 % de Pd). Les sources ont été simulées en déposant une solution de CoCl_2 inactif avec adjonction de l'agent mouillant habituel.

Ces manipulations incluaient toutes les variantes possibles quant à l'ordre de dépôt des sources sur les films et des films sur les rondelles. Le nombre de films métallisés dépasse 2 000. Les résultats se résument comme suit :

a. Il faut éviter d'évaporer l'or sur le film plastique à travers l'orifice de la rondelle d'acier qui, par son bord intérieur aigu, empêche un bon contact. Pour des films dorés sur les deux faces cette difficulté n'existe pas.

b. Avec 15 $\mu\text{g cm}^{-2}$ d'or ou 10 $\mu\text{g cm}^{-2}$ d'or-palladium on obtient toujours une conductivité suffisante.

c. Les sources déposées sur le côté doré risquent de repousser l'or et de former des surfaces peu conductrices. Cet effet est plus prononcé avec l'acide nitrique qu'avec l'acide chlorhydrique et plus fort pour une solution 1 N que pour une solution 0,1 N.

Quelques problèmes concernant la méthode $4\pi\beta\text{-}\gamma$ (J. W. Müller)

La méthode absolue dite $4\pi\beta\text{-}\gamma$ est utilisée couramment depuis une vingtaine d'années pour la mesure précise d'activités de radionucléides où le mécanisme de désintégration produit des coïncidences vraies entre les radiations observables.

Cependant, pour tirer parti au maximum de l'exactitude que permet d'atteindre le principe de cette méthode, il faut appliquer des corrections qui sont dues pour la plupart aux dispositifs électroniques ou aux conditions de mesure. Mentionnons par exemple le mouvement propre, les temps morts et la résolution finie du circuit à coïncidences.

Le dispositif général pour une telle mesure d'activité correspondra essentiellement au schéma indiqué par la figure 10, où l'on a laissé de côté tout ce qui n'a pas d'influence sur les raisonnements qui vont suivre. Pour les désintégrations de la source on suppose un processus de Poisson. Ce type de processus n'est modifié ni par la superposition d'un mouvement propre, ni par l'échantillonnage aléatoire dû au système de détecteurs, dont l'effet est décrit d'une manière sommaire par les efficacités ϵ . On obtient donc, en désignant par N_0 le taux d'émission de la source, les taux

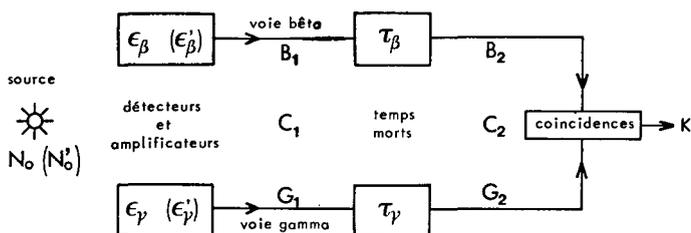


Fig. 10. — Schéma de principe (simplifié) pour la méthode $4\pi\beta\text{-}\gamma$ avec les taux de comptage correspondants.

Les grandeurs entre parenthèses se réfèrent au mouvement propre.

de comptage B_1 et G_1 avant insertion des temps morts compte tenu du mouvement propre (repéré par les apostrophes) :

et
$$B_1 = N_0 \cdot \epsilon_\beta + N'_0 \cdot \epsilon'_\beta, \quad \text{pour la voie bêta,}$$

$$G_1 = N_0 \cdot \epsilon_\gamma + N'_0 \cdot \epsilon'_\gamma, \quad \text{pour la voie gamma,}$$

ou, si C_1 désigne le taux de coïncidences vraies :

$$B_1 = b_1 + C_1 \quad \text{et} \quad G_1 = g_1 + C_1,$$

avec $C_1 = N_0 \epsilon_\beta \epsilon_\gamma + N'_0 \epsilon'_\beta \epsilon'_\gamma$.

L'introduction des temps morts a pour effet un changement fondamental des processus de comptage. En admettant des temps morts τ_β et τ_γ du type non cumulatif où chaque impulsion enregistrée est suivie d'un intervalle de temps pendant lequel le compteur est entièrement insensible à l'arrivée d'autres impulsions, on obtient un processus dont la densité des intervalles est représentée par une exponentielle décalée. Les taux de comptage sur les deux voies sont maintenant

$$B_2 = B_1 \cdot T_\beta \quad \text{et} \quad G_2 = G_1 \cdot T_\gamma$$

avec des facteurs de « transmission »

$$T_{\beta} = \frac{1}{1 + B_1 \tau_{\beta}} \quad \text{et} \quad T_{\gamma} = \frac{1}{1 + G_1 \tau_{\gamma}}$$

Comme auparavant, on fait une décomposition du taux de comptage total en

$$B_2 = b_2 + C_2 \quad \text{et} \quad G_2 = g_2 + C_2.$$

Un problème sérieux apparaît maintenant si l'on essaie de déterminer le taux de coïncidences vraies C_2 , c'est-à-dire le nombre d'impulsions qui, ayant traversé le dispositif imposant un temps mort fixe, sont toujours jumelées avec un partenaire sur l'autre voie.

On pourrait être tenté de penser à une relation simple du type

$$C_2 = C_1 \cdot T_c \quad \text{avec} \quad T_c = T_{\beta} \cdot T_{\gamma}.$$

Cependant, cela supposerait l'indépendance des processus capables d'effacer des impulsions sur les deux voies. Mais c'est justement la présence de coïncidences vraies qui exclut cette solution en introduisant une corrélation entre les deux voies. Par conséquent, le simple produit ne servira de bonne approximation que dans le cas limite où C_1 est de beaucoup inférieur à b_1 et à g_1 . D'autre part, pour des efficacités proches de l'unité, on a

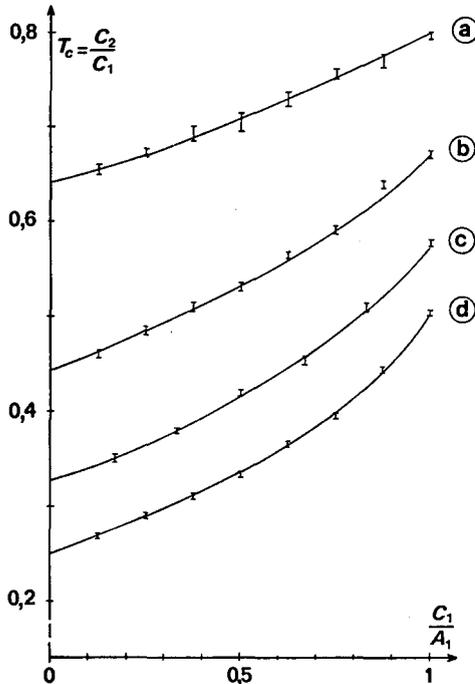


Fig. 11. — Facteur de transmission T_c pour les coïncidences vraies en fonction du rapport C_1/A_1 des taux de comptage, pour le cas où $B_1 = G_1 = A_1$.

Résultats de simulations par la méthode de Monte-Carlo, les taux de comptage A_1 pour les différentes courbes étant : a) 50 000 s^{-1} ; b) 100 000 s^{-1} ; c) 150 000 s^{-1} ; d) 200 000 s^{-1} ; on a choisi pour les deux temps morts $\tau = 5 \mu s$.

$C_1 \approx B_1 \approx G_1$, et la transmission T_c tend plutôt vers le plus petit des facteurs de transmission T_β ou T_γ .

Malheureusement, la situation est beaucoup plus compliquée dans le domaine intermédiaire qui nous intéresse plus particulièrement. Grâce à un programme du type Monte-Carlo pour ordinateur, nous pouvons tout de même obtenir des résultats numériques pour n'importe quel choix des divers paramètres (taux, efficacité ou temps morts). La figure 11 donne quelques valeurs qui montrent l'allure générale.

Une description théorique du comportement de T_c est possible en introduisant un « facteur de corrélation ». Ce calcul a été esquissé dans le Rapport BIPM-70/4. La probabilité d'effacement partiel ou total d'une coïncidence C_1 par un temps mort dépend alors du type d'impulsion enregistrée à laquelle cette perte est due. Une autre simulation des processus aléatoires nous a permis de vérifier les prévisions théoriques. Par contre, une tentative de calcul direct de ce facteur de corrélation n'a pas encore donné de résultats suffisamment précis. Il faudra donc poursuivre l'étude de ce problème.

Un autre point délicat dans l'application pratique de la méthode $4\pi\beta\text{-}\gamma$ consiste à évaluer le taux de coïncidences fortuites C_f provenant du pouvoir séparateur limité du circuit à coïncidences. Il se superpose au taux vrai C_2 et donne lieu au taux de coïncidences observable $K = C_2 + C_f$. On a l'habitude de supposer tacitement que les impulsions non corrélées forment toujours un processus de Poisson (ce qui n'est plus le cas), et on arrive ainsi à la formule bien connue

$$C_f = 2\tau_r \cdot b_2 \cdot g_2,$$

ou à une formule analogue, avec τ_r comme temps de résolution pour les coïncidences. Puisqu'il s'agit d'une correction qui, dans la plupart des applications, ne dépasse guère quelques centièmes, on peut admettre que cette approximation suffira en général. On remarquera que les taux b_2 et g_2 exigent de nouveau la connaissance de C_2 .

Il y aura bientôt dix ans que Gandy (*Int. J. Appl. Rad. Isotopes*, 11, 1961, p. 75) a indiqué un effet qui apparaît dans le comptage des coïncidences s'il y a un retard relatif entre les voies bêta et gamma. Étant données les diverses simplifications qu'il a fallu admettre pour montrer l'existence de cet effet, il nous a paru intéressant de voir si, par une simulation exacte, on pourrait effectivement le vérifier. Le résultat d'un tel calcul, qui est de nouveau fondé sur le principe d'essais répétés (Monte-Carlo), est donné à la figure 12. On voit que le changement apporté par un retard systématique entre les deux voies — au moins dans ces conditions — est beaucoup plus compliqué que ne le prévoit la théorie actuelle. En particulier, on remarque l'effet de la corrélation qui se traduit par une périodicité transitoire amortie dont la période est essentiellement déterminée par la durée des temps morts.

A l'heure actuelle nous sommes encore loin d'une description satisfaisante de tous ces effets. Mais leur influence sur la mesure exacte d'activités absolues nous oblige à étudier plus en détail tous ces problèmes qui sont à la base d'une interprétation sûre et précise des résultats des mesures.

L'application de l'une ou l'autre des différentes formules proposées pour l'interprétation des mesures peut donner lieu à des écarts qui atteignent ou dépassent facilement le millième, comme l'a bien montré la dernière

comparaison internationale de ^{56}Mn . En effet, dans certains cas ces incertitudes sont la source la plus importante d'erreur systématique sur le résultat final. Par conséquent, un progrès dans notre connaissance des corrections de deuxième ordre n'est pas seulement un problème d'esthétique pure, mais plutôt de stricte nécessité, si l'on veut être sûr que la précision actuellement accessible n'est pas illusoire.

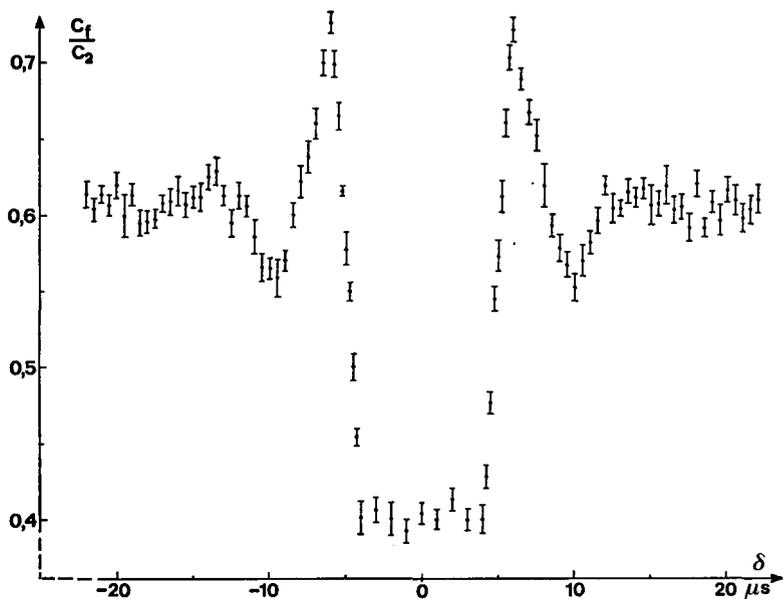


Fig. 12. — Rapport des taux de coïncidences fortuites C_f et de coïncidences vraies C_2 en fonction du retard δ entre les voies β et γ . Simulations par la méthode de Monte-Carlo avec $B_1 = G_1 = 200\,000\text{ s}^{-1}$, $C_1 = 100\,000\text{ s}^{-1}$, $\tau_\beta = \tau_\gamma = 5\ \mu\text{s}$ et $\tau_r = 1\ \mu\text{s}$.

Spectrométrie alpha (B. Grennberg*, A. Rytz, P. Bréonce)

Un grand effort a été consacré aux améliorations et à l'étude approfondie du champ magnétique du spectromètre, et à la préparation des sources de particules alpha. La méthode de mesure des énergies absolues a atteint un degré de perfectionnement qui, nous l'espérons, permettra d'obtenir rapidement un nombre important de nouveaux résultats de haute qualité.

Électro-aimant : stabilisation et mesure du champ. — Le remplacement de l'ancien échangeur thermique par un appareil beaucoup plus efficace a apporté une très nette amélioration du refroidissement de l'aimant. Ce refroidissement est obtenu au moyen d'un réfrigérant atmosphérique qui transforme la chaleur produite dans les bobines et dans les appareils d'alimentation électrique en chaleur d'évaporation d'eau. La température d'équilibre peut être maintenue à un niveau acceptable quelle que soit la température extérieure, sauf pour la puissance maximale qui n'est nécessaire que pour un très petit nombre d'expériences.

Pour obtenir les meilleures performances de l'électro-aimant, il est nécessaire de le laisser en marche continue, parfois pendant deux ou trois semaines. Les dispositifs de sécurité incorporés sont d'ailleurs parfaitement

adaptés à un tel régime. Pendant plusieurs jours après la mise en marche, la topographie du champ subit encore des modifications de plus en plus faibles qui se manifestent par une « correction de Hartree » variable (différence entre le champ moyen, valable pour un demi-cercle, et le champ de référence). L'équilibre est atteint plus vite quand on fait varier le courant dans les bobines suivant un cycle prédéterminé : par exemple, pour obtenir un champ de 0,909 T on maintient successivement pendant 20 minutes le courant à 400, 350, 390, 360, 380, 365, 372 A, après quoi on peut enclencher la stabilisation du champ. De tels raffinements n'ont de sens que lorsque la stabilisation du champ reste enclenchée, avec une bonne probabilité, pendant au moins 15 heures sans surveillance.

Une nouvelle sonde de construction plus perfectionnée, un meilleur amortissement mécanique de la chambre à vide, ainsi que la suppression partielle des signaux secondaires (« wiggles ») ont contribué à une amélioration notable du fonctionnement de la stabilisation. En outre, nous avons installé un volet pneumatique commandé par le dispositif de stabilisation et qui obstrue les trajectoires des particules pendant les périodes de stabilité réduite. Le dispositif de stabilisation a été décrit en détail et publié dans *Nuclear Instruments and Methods* (voir Publications extérieures, p. 79).

Nous avons repris les mesures de composantes radiales du champ (dans un plan horizontal) avec un dispositif amélioré et pour deux valeurs différentes du champ principal (vertical). Une expérience supplémentaire a montré que le champ auxiliaire (horizontal) d'environ 1,2 mT n'est pas modifié par la présence des pièces polaires. La correction due aux variations de direction du champ reste toujours inférieure au millionième pour un champ principal de 1,0 et 0,9 T (valeurs pour lesquelles ces mesures ont été faites).

Nous avons recalculé la correction de Hartree et y avons ajouté un terme du second ordre. Ce calcul, ainsi que les mesures des composantes radiales du champ, feront l'objet d'une publication.

Comme la stabilisation ne peut se référer qu'à un seul point du champ, on observe des fluctuations de la valeur moyenne définie par la formule classique de Hartree. Elles sont dues à des variations de température et aux variations rapides du courant. Au bout de deux jours de marche stabilisée, elles atteignent plus ou moins leur niveau d'équilibre avec des fluctuations à long terme de l'ordre de 5×10^{-6} , ce qui correspond à une incertitude d'énergie de l'ordre de 50 eV.

Toutes les mesures de champ étant basées sur le même fréquencemètre (Rochar, type A. 1439), il est prudent de vérifier l'étalonnage de cet instrument. A l'aide d'un récepteur-comparateur pour l'onde de Droitwich (200 kHz), nous avons pu constater que la stabilité du fréquencemètre est meilleure que 10^{-8} par semaine.

Sources émettrices α pour mesures absolues d'énergie. — Le laboratoire de préparation de sources α aménagé dans une roulotte abrite maintenant des produits radioactifs dont le rayonnement γ très pénétrant perturbait les expériences effectuées dans le bâtiment voisin des mesures neutroniques (augmentation du mouvement propre du petit bain de MnSO_4); ce laboratoire a été déplacé à côté du grand hall des rayons X.

Le tableau X donne la liste des produits dont nous disposons à la date du 1^{er} octobre 1970.

TABLEAU X

| Substance- mère | Période (ans) | Activité (mCi) | Description | Émetteur α des sources |
|--------------------|------------------|-------------------|--|---|
| ^{228}Th | 1,9 | 11 | adsorbé sur résine échangeuse d'ions* | ^{212}Bi , ^{212}Po |
| ^{228}Th | | 34 | adsorbé sur Fe_3O_3 , H_2O^* | ^{212}Bi , ^{212}Po |
| ^{228}Th | | ≈ 4 | sur grande surface (don du Lawrence Radiation Laboratory) | ^{224}Ra , ^{222}Rn , ^{216}Po |
| ^{226}Ra | 1 600 | 50 | source émanante (prêt de l'Union Minière; rendue le 31 juillet 1970) | ^{214}Po , ^{218}Po |
| ^{242}Cm | 0,45 | 3,8 | solution* | ^{242}Cm |
| ^{244}Cm | 18 | 4,2 | solution (don de l'Institut Kourtchatov) | ^{244}Cm |
| ^{238}Pu | 86 | 2,6 | solution (don de l'Institut Kourtchatov) | ^{238}Pu |

* Acheté au Radiochemical Centre (Amersham).

Les solutions se trouvent dans des récipients en quartz à joint rodé et les substances solides dans des pots d'activation métalliques étanches. Le ^{228}Th du Lawrence Radiation Laboratory (Berkeley, Calif.) a été déposé sur une surface de 60 cm^2 de platine par le Centre de Spectrométrie Nucléaire et de Spectrométrie de Masse à Orsay (Dr R. J. Walen); ce radio-nucléide servira à la préparation de sources par collection de reculs. Ce dernier laboratoire a aussi mis à notre disposition un pot d'activation pour préparer des sources de dépôt actif du radium.

Pour le développement des plaques nucléaires, une installation permet maintenant de maintenir les bains photographiques à une température désirée et contrôlée, évitant ainsi les pertes de nombreuses plaques qui s'étaient produites jusqu'ici.

Ces manipulations, qui se répètent à chaque pose, deviennent un travail de routine. Il s'agit maintenant surtout d'appliquer cette méthode à un nombre aussi grand que possible d'émetteurs alpha. Dans ce but nous avons acheté plusieurs produits fabriqués commercialement. En outre, deux autres laboratoires intéressés par notre travail nous ont offert des produits précieux et difficiles à obtenir. Ainsi, l'Institut d'Énergie Atomique I. V. Kourtchatov (Prof. S. A. Baranov), à Moscou, a mis à notre disposition une solution de ^{238}Pu et une de ^{244}Cm (tableau X). Le Dr F. Asaro, du Lawrence Radiation Laboratory, qui nous avait déjà offert du ^{242}Cm et du ^{228}Th , nous a envoyé un échantillon de ^{253}Es (période 20 jours) sur lequel nous avons commencé aussitôt les mesures. Le Bureau International remercie vivement ces deux laboratoires pour leur assistance.

Une plaque a été exposée dans le spectromètre en utilisant plusieurs sources de dépôt actif du thorium, afin de mesurer les énergies des particules de long parcours. Les résultats n'ont toutefois pas été concluants à cause de l'intensité extrêmement faible de ces raies. Les mesures seront reprises avec des poses d'au moins une semaine à champ maximal.

Un certain nombre de sources de ^{242}Cm et de ^{244}Cm ont été préparées par évaporation sous vide. Chaque source a été utilisée plusieurs fois, ce qui a donné un nombre considérable de clichés dont l'exploitation est en cours.

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

Notre programme expérimental comprend d'une part la mesure périodique du taux d'émission des sources de neutrons Ra-Be (α, n) et Ra-Be (γ, n) du Bureau International, avec le souci constant d'améliorer la précision, et, d'autre part, la poursuite des mesures de débit de fluence de neutrons rapides monocinétiques par la réaction $D(d, n)^3\text{He}$.

Taux d'émission des sources de neutrons Ra-Be (α, n) de 200 mCi et Ra-Be (γ, n) de 500 mCi du B.I.P.M.

Nous avons procédé le 1^{er} octobre 1969 à un nouvel étalonnage du dispositif de détection des rayons γ dont le seuil a été fixé à 30 keV. Les constantes d'étalonnage obtenues pour nos sphères de 1 m et 0,50 m de diamètre sont :

sphère de 1 m $(4\,404 \pm 4) \text{ s}^{-1}$ }
 sphère de 0,50 m $(22\,068 \pm 20) \text{ s}^{-1}$ } pour 10^6 désintégrations par seconde.

On ne peut pas comparer directement cet étalonnage avec celui du 14 novembre 1968, puisque l'efficacité de détection est légèrement différente. Cependant, cette comparaison peut s'effectuer par l'intermédiaire des mesures du taux d'émission de neutrons (Q) des sources Ra-Be (α, n) et Ra-Be (γ, n) (sphère de Be de 3 cm) du B.I.P.M., compte tenu des facteurs de correction (k). On a ainsi obtenu pour $\frac{Q}{k}$:

| | $[\text{Ra-Be}(\alpha, n)]_{200\text{mCi}}$ | $[\text{Ra-Be}(\gamma, n)]_{500\text{mCi}}$ |
|---|---|--|
| 14 novembre 1968 } (ramené au 1 ^{er} octobre 1969) } | $(3,112 \pm 0,006) \times 10^6 \text{ s}^{-1}$ | $(4,462 \pm 0,008) \times 10^5 \text{ s}^{-1}$ |
| 1 ^{er} octobre 1969 | $(3,110 \pm 0,006)$ | $(4,464 \pm 0,008)$ |

L'accord est donc très satisfaisant.

Les valeurs du taux d'émission des sources Ra-Be (α, n) et Ra-Be (γ, n) (sphère de Be de 3 cm) du B.I.P.M. sont :

$$\left. \begin{aligned} Q[\text{Ra-Be}(\alpha, n)]_{200\text{mCi}} &= (3,272 \pm 0,03) \times 10^6 \text{ s}^{-1} \\ Q[\text{Ra-Be}(\gamma, n)]_{500\text{mCi}} &= (4,485 \pm 0,02) \times 10^5 \text{ s}^{-1} \end{aligned} \right\} \text{1^{er} octobre 1969}$$

Les erreurs indiquées sont les erreurs totales, y compris celles qui sont dues aux incertitudes sur les sections efficaces de capture des neutrons thermiques et rapides, et sur les termes de corrections tels que la fuite des neutrons rapides hors de la sphère, l'auto-absorption, les impuretés de la solution, etc.

Comparaison des mesures du N.B.S. et du B.I.P.M. sur le taux d'émission de la source de neutrons Ra-Be (γ, n) NBS II de 1 Ci

La source NBS II est constituée d'une capsule cylindrique en monel de 8,4 mm de diamètre, 8,6 mm de hauteur et 1 mm d'épaisseur, placée au

centre d'une sphère de beryllium de 40 mm de diamètre. La capsule contient 1 g de radium sous forme de bromure, soit 1,71 g de Br_2Ra . Pour nous rapprocher le plus possible de nos conditions de mesure habituelles, la source NBS II a été disposée au centre d'une sphère creuse en polyméthylmétacrylate ($\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$)ⁿ (plexiglas) de 40 mm de diamètre intérieur et de 4 mm de paroi. Les mesures ont été effectuées dans notre sphère de 0,50 m de diamètre contenant une solution de MnSO_4 . Les rayons γ du ^{56}Mn produits par capture des neutrons ont été mesurés en valeur relative par un scintillateur NaI plongé dans la solution après retrait de la source de neutrons et brassage de la solution.

La mesure au B.I.P.M. du taux d'émission de la source de neutrons NBS II a fourni le résultat suivant, comparé à celui du N.B.S. ramené à la même date :

$$Q_{\text{NBS II}} \begin{cases} (1,178 \pm 0,003) \times 10^6 \text{ s}^{-1} & (\text{B.I.P.M., octobre 1969}) \\ (1,177 \pm 0,01) \times 10^6 \text{ s}^{-1} & (\text{N.B.S., octobre 1969}) \end{cases}$$

Ces deux valeurs sont en excellent accord. L'erreur de 3×10^{-3} sur la mesure de $Q_{\text{NBS II}}$ au B.I.P.M. est obtenue sans tenir compte des erreurs sur les sections efficaces de capture des neutrons thermiques par le soufre, l'hydrogène et le manganèse; ces erreurs sont en effet éliminées dans la comparaison si l'on utilise des concentrations voisines et les mêmes valeurs des sections efficaces pour le calcul.

Taux d'émission d'une source de neutrons Ra-Be (γ , n) de 500 mCi en fonction de la masse de beryllium

Nous avons effectué la comparaison des taux d'émission de neutrons pour la même capsule de radium de 500 mCi du Bureau International placée successivement dans une sphère de Be de 3 cm de diamètre et dans une sphère de Be de 4 cm de diamètre. Le résultat expérimental donne :

$$\frac{Q_{(4 \text{ cm})}}{Q_{(3 \text{ cm})}} = 1,428 \pm 0,002.$$

Le calcul des rendements donne pour ce rapport : 1,454. La différence de $1,8 \times 10^{-2}$ entre les valeurs expérimentale et calculée peut être imputée à la proportion des rayons γ qui subissent la diffusion Compton et ont par suite une énergie inférieure à l'énergie de liaison du ^9Be .

D'autre part, le rendement en neutrons par gramme de radium et par gramme de beryllium de la source Ra-Be (γ , n) (sphère de Be de 4 cm) du B.I.P.M. est de 10,9 % plus élevé que celui de la source NBS II. Cela semble indiquer que notre sphère de beryllium a une pureté supérieure à celle de NBS II.

Mesure de l'activité de la solution de MnSO_4 par la méthode de circulation

Dans le but de rechercher la raison pour laquelle il existait un écart systématique de 0,2 % sur l'activité à saturation entre la mesure effectuée pendant l'équilibre radioactif, la source étant dans la solution, et la mesure par décroissance d'activité rapportée à l'instant où la source est retirée, nous avons poursuivi les études en changeant les conditions expérimentales. En particulier, la solution de la sphère a été mélangée de différentes façons

et avec des vitesses de rotation du mélangeur variant d'un facteur 4; la solution a été extraite de divers endroits de la sphère; une deuxième enceinte de détection a été construite, qui diffère de l'ancienne par son système de circulation de la solution; le sens de circulation du liquide irradié et les voies d'arrivée et de départ de la solution dans l'enceinte ont été inversés; la longueur des tuyaux entre la sphère et l'enceinte a été doublée, etc.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau XI où N_c et N_d sont les taux de comptage à saturation déduits des mesures par croissance et par décroissance d'activité; l'erreur relative sur chacune de ces mesures est de 0,05 %.

TABLEAU XI

| Source Ra-Be(γ , n) | N_c (s ⁻¹) | N_d (s ⁻¹) | $\frac{N_d - N_c}{N_d}$ |
|--|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| NBS II (1 Ci) | 2 042,6 | 2 046,4 | + 1,9 × 10 ⁻³ |
| | 2 041,7 | 2 046,9 | + 2,5 |
| | 2 042,4 | 2 045,3 | + 1,4 |
| | 2 042,4 | 2 044,0 | + 0,8 |
| | 2 042,5 | 2 046,5 | + 1,9 |
| | 2 039,9 | 2 045,0 | + 2,5 |
| | 2 041,2 | 2 045,1 | + 1,9 |
| BIPM (sphère de Be de 4 cm) (500 mCi) | 1 097,3 | 1 099,3 | + 1,8 |
| | 1 097,1 | 1 099,3 | + 2,0 |
| | 1 099,3 | 1 100,8 | + 1,4 |
| | 1 061,6 | 1 063,8 | + 2,1 |
| | 1 061,2 | 1 063,6 | + 2,3 |
| Moyenne | | | + 1,9 × 10 ⁻³ |

Aux erreurs expérimentales près, on voit dans le tableau XI que l'écart de 2×10^{-3} persiste encore malgré les conditions très différentes de mesure. On peut se demander si le mélange de la solution était parfait. A-t-on extrait un échantillon de solution qui a une activité systématiquement plus faible (de 2×10^{-3} dans notre cas) due à la présence d'une forte densité de neutrons au voisinage immédiat de la source? Une cavité de 10 cm de diamètre autour de la source pourrait fournir des informations utiles à ce sujet. Nous envisageons d'effectuer de telles mesures dans la suite de cette étude.

Source de neutrons D(d, n)³He

Pour les mesures de débit de fluence de cette source, nous avons maintenant une meilleure focalisation du faisceau de deutons grâce à la lentille quadrupolaire électrostatique placée à la sortie de l'électro-aimant. La tache de l'impact sur une cible perpendiculaire au faisceau est une ellipse verticale de $2 \times 3,5$ mm.

Nous avons poursuivi sur cette source, avec un faisceau de deutons de 100 keV, 2 μ A, la comparaison des mesures par comptage des neutrons (Φ_n) et par comptage des ³He (Φ_{He}) (voir Rapports précédents). Ces mesures ont été faites avec deux nouveaux porte-cibles en aluminium pour l'observation des particules ³He à 150° et à 90°, qui permettent une meilleure

TABLEAU XII

Mesure de la source de neutrons D(d, n) ^3He par comptage des ^3He et par comptage des neutrons

| | Observation des ^3He à 150° | | | | Observation des ^3He à 90° | | | |
|--|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | (1) | (2) | (3) | (4)* | (1) | (2) | (3) | (4) |
| Mesure N° | | | | | | | | |
| Distance cible-scintillateur (cm) .. | 8 | 10 | 8 | 8 | 8 | 10 | 10 | 8 |
| Charges électriques collectées sur la cible (μC) | 24 000 | 20 000 | 20 000 | 20 000 | 24 000 | 24 000 | 20 000 | 20 000 |
| Protons** | 205 291 | 196 978 | 221 077 | 220 435 | 145 223 | 195 429 | 162 010 | 153 154 |
| ^3He (fenêtre) | 184 445 | 179 882 | 201 506 | 201 405 | 136 699 | 187 176 | 154 411 | 145 893 |
| Neutrons (scintillateur) | 3 236 800 | 2 071 518 | 3 503 594 | 3 063 253 | 1 731 741 | 1 566 031 | 1 293 703 | 1 833 596 |
| Coïncidences n- ^3He | 16 528 | 15 912 | 18 066 | 15 921 | 12 332 | 17 007 | 14 258 | 13 299 |
| Efficacité du scintillateur | 0,0887 | 0,0878 | 0,0885 | 0,0780 | 0,0897 | 0,0904 | 0,0919 | 0,0905 |
| ^3He /protons | 0,941 | 0,951 | 0,950 | 0,949 | 0,982 | 0,992 | 0,984 | 0,983 |
| Neutrons/protons | 176,8 | 118,7 | 178,6 | 177,5 | 131,2 | 87,2 | 85,6 | 131,0 |
| $\Phi_{\text{He}} (\times 10^7)$ *** | 3,520 | 2,261 | 3,826 | 3,808 | 1,722 | 1,553 | 1,276 | 1,817 |
| $\Phi_{\text{n}} (\times 10^7)$ | 3,536 | 2,258 | 3,821 | 3,787 | 1,802 | 1,623 | 1,320 | 1,897 |
| $\frac{\Phi_{\text{n}} - \Phi_{\text{He}}}{\Phi_{\text{He}}} (\%)$ | + 0,5 | - 0,1 | - 0,1 | - 0,2 | + 4,7 | + 4,5 | + 3,4 | + 4,4 |

* Le seuil de détection des neutrons correspond, pour les électrons, à une énergie de 100 keV au lieu de 50 keV pour les autres mesures.

** Les protons produits par la réaction D (d, p) ^3He et les ^3He sont détectés par la même jonction.

*** Les résultats pour Φ_{He} sont ramenés à l'angle solide utilisé pour les mesures de Φ_{n} .

reproductibilité et une meilleure définition de la position de la cible. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau XII.

On voit dans ce tableau que pour l'observation des ^3He à 150° des résultats concordants ont été obtenus par les deux méthodes de comptage, ce qui confirme les résultats antérieurs. Pour l'observation des ^3He à 90° , un écart de $(4,5 \pm 1) \times 10^{-2}$ reste à éclaircir; nous rappelons que cet écart atteignait auparavant 10 %. L'amélioration des mesures actuelles est due à la meilleure focalisation du faisceau de deutons.

L'erreur totale sur la mesure des ^3He à 150° est estimée à ± 2 %, tandis que celle sur la mesure à 90° est de ± 1 %; l'erreur totale sur la mesure par scintillateur est estimée à $\pm 1,5$ %.

Publications

Publications du Bureau (H. Moreau)

Depuis la précédente session (octobre 1969), le Bureau a publié :

1° *Procès-Verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures*, tome 36 (57^e session, octobre 1968).

2° *Comité Consultatif d'Électricité*, 12^e session (1968), avec 13 Annexes.

3° *Comité Consultatif des Unités*, 2^e session (1969).

Publications extérieures

TERRIEN (J.), Précision des mesures optiques de longueur, de vitesse, d'accélération, et définition des unités. *Nouv. Rev. Optique Appliquée*, **1**, N° 2, 1970, pp. 73-78.

TERRIEN (J.), The latest developments of the SI units of length and of time. *De Ingenieur (Nederland)*, **82**, N° 27, 1970, pp. A 543-546.

TERRIEN (J.), News from the Bureau International des Poids et Mesures. *Metrologia*, **6**, N° 2, 1970, pp. 65-67.

TERRIEN (J.), Problèmes actuels posés par les étalons et les références métrologiques. Congrès Imeko V, Versailles 25-30 mai 1970; publié dans *Mesures, Régulation, Automatisation*, **36**, N° 5, 1971, pp. 96-100.

GIACOMO (P.), Laser et métrologie. *Bull. Inform. Bureau Nat. Métrologie (France)*, **1**, N° 1, 1970, pp. 7-9.

CZERWONKA (R.), GIACOMO (P.) et HAMON (J.), Radiations étalons secondaires de longueur du krypton 86. *Metrologia*, **6**, N° 3, 1970, pp. 74-81.

GIRARD (G.), L'Échelle Internationale Pratique de Température de 1968 et l'Océanographie; exposé général. *Cahiers Océanographiques*, **22**, 1970, pp. 901-931.

MENACHÉ (M.) et GIRARD (G.), Étude de la variation de la masse volumique de l'eau en fonction de sa composition isotopique. *C.R. Acad. Sci.*, **270-B**, 1970, pp. 1513-1516.

ALLISY (A.) et BOUTILLON (M.), Distribution de l'énergie déposée par des neutrons à l'intérieur d'ellipsoïdes de révolution. *Proceedings of the Second Symposium on Microdosimetry*, Stresa (Italie), 20-24 octobre 1969, pp. 183-190, (référence Euratom: EUF 4452 (J.C)).

BRÉONCE (P.) et GRENNBERG (B.), A proton resonance magnetic field stabilizer using a quartz stabilized reference frequency. *Nucl. Instr. and Meth.*, **84**, 1970, pp. 83-89.

Rapports internes

Neuf rapports, qui constituent essentiellement des documents de travail, ont été rédigés par divers membres du personnel ⁽⁵⁾ :

— Traitement statistique des résultats de mesure. Exposés faits au B.I.P.M. par J. W. Müller, notes prises et rédigées par P. Carré (Rapport BIPM-108, 70 pages, 16 pages d'exercices, à suivre).

— Sur la répartition des coïncidences vraies, par J. W. Müller (Rapport BIPM-69/14, décembre 1969, 4 pages).

— Notice d'utilisation des sous-programmes de Précision Étendue Améliorée, Version 1969, pour Ordinateur I.B.M. 1130, par P. Carré (Rapport BIPM-69/15, octobre 1969, 4 pages).

— Note technique sur les sous-programmes de Précision Étendue Améliorée, Version 1969, par P. Carré (Rapport BIPM-70/2, décembre 1969, 10 pages).

— Thermostat de précision pour la mesure de la densité de l'eau, par J.-M. Chartier (Rapport BIPM-70/1, janvier 1970, 6 pages, 12 figures).

— Masses volumiques, par P. Giacomo (Rapport BIPM-70/3, février 1970, 3 pages).

— Observations sur le taux des coïncidences vraies, par J. W. Müller (Rapport BIPM-70/4, mars 1970, 4 pages).

— On the effective error of a least-squares solution, par J. W. Müller (Rapport BIPM-109, mai 1970, 5 pages).

— Mémento des sous-programmes B.I.P.M., mis à jour périodiquement, par P. Carré (dernière mise à jour : juin 1970, au total 10 pages) (Rapport BIPM-70/7).

⁽⁵⁾ Quelques exemplaires de ces rapports sont disponibles et peuvent être fournis sur demande.

Certificats et Notes d'étude

Du 1^{er} septembre 1969 au 31 août 1970, 38 Certificats et 3 Notes d'étude ont été délivrés.

CERTIFICATS

1969

| N° | | |
|-----|---|---|
| 27. | Règle de 1 m, N° 12929, en acier nickelé ... | Société Genevoise d'Instruments de Physique, Genève, Suisse. |
| 28. | Règle de 1 m, N° 15480, en acier-nickel | National Physical Laboratory for Metrology, Le Caire, République Arabe Unie. |
| 29. | Règle de 1 m, N° 346, en invar (addition) .. | Bureau d'Etat des Mesures, Poids et Métaux Précieux, Prague, Tchécoslovaquie. |
| 30. | Quatre fils de 24 m, N°S 490 à 493 ; un fil de 8 m, N° 474 (addition) | Mission Géographique de l'Angola, Nova-Lisboa, Angola. |
| 31. | Ruban de 4 m en invar, N° 1204 N° 58 (addition) | Id. |
| 32. | Deux fils de 24 m, N°S 638 et 640 | Société Nationale de Sidérurgie, Annaba, Algérie. |
| 33. | Deux rubans de 4 m en invar, N°S 98 et 99 .. | Ministère de l'Irrigation, Giza-Orman, République Arabe Unie. |
| 34. | Mètre Prototype, N° 2 (addition) | Suisse. |
| 35. | Kilogramme en laiton doré | Bureau des Poids et Mesures de Finlande. |
| 36. | Deux broches en silice de 0,99 m | Institut de Physique de l'Université Nationale Autonome de Mexico, Mexique. |
| 37. | Mètre Prototype, N° 20 (addition) | Australie. |

1970

| N° | | |
|----|---|--|
| 1. | Trois étalons secondaires d'intensité lumineuse, N°S 32C, 139C et 145C (Tc 2045 K) (addition) | Direction Générale de la Métrologie, Bucarest, Roumanie. |
| 2. | Cinq étalons secondaires d'intensité lumineuse, N°S 257-59, 258-59, 195/473, 196/474, 197/475 (Tc 2357 K) | Id. |
| 3. | Cinq étalons secondaires d'intensité lumineuse, N°S 198/476, 199/477, 200/478, 201/479, 202/480 (Tc 2859 K) | Id. |
| 4. | Cinq étalons secondaires de flux lumineux, N°S 1/869, 2/870, 3/871, 4/872, 5/873 (Tc 2357 K) | Id. |

1970 (suite)

| N° | | |
|-----|---|---|
| 5. | Huit étalons secondaires de flux lumineux, N ^{os} 1/864, 2/865, 3/866, 4/867, 5/868, LP 8885, LP 8887, LP 8888 (Tc 2793 K) | Direction Générale de la Métrologie, Bucarest, Roumanie. |
| 6. | Quatre étalons secondaires de température de couleur, N ^{os} 203/504, 204/505, 205/506, 206/507 (Tc 2045 A 2859 K) | Id. |
| 7. | Cinq étalons de force électromotrice, N ^{os} 45-64, 33-64, 47-64, 48-64, 49-64 | Id. |
| 8. | Cinq étalons de force électromotrice, N ^{os} 2286, 2287, 2288, 2289, 2290 | Laboratoire Central des Industries Electriques, Fontenay-aux-Roses, France. |
| 9. | Kilogramme en bars (addition) | Institut de Normalisation, Mesures et Appareils de Mesure, Sofia, Bulgarie. |
| 10. | Etalon de 1 ohm, N° 1 742 834 | Compagnie Générale de Métrologie, Annecy, France. |
| 11. | Etalon de force électromotrice, N° 9 106 903 | Urząd pro Normalizacji, Prague, Tchécoslovaquie. |
| 12. | Deux étalons de force électromotrice, N ^{os} 415 983 A et B | Id. |
| 13. | Un micromètre objectif Reichert | Id. |
| 14. | Ruban de 4 m en invar, N° 072 (addition) ... | Commissariat à l'Energie Atomique, Limoges, France. |
| 15. | Quatre fils de 24 m, N ^{os} 541 A 544 ; un fil de 8 m, N° 540 (addition) | Id. |
| 16. | Cinq calibres étalons en acier de 600, 700, 800, 900, 1000 mm | Office National des Mesures, Budapest, Hongrie. |
| 17. | Trois calibres étalons en acier CKJ de 50, 50 et 100 mm | Direction Générale de la Métrologie, Bucarest, Roumanie. |
| 18. | Neuf calibres étalons en acier CKJ de 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 et 1000 mm | Id. |
| 19. | Trois étalons de 1 ohm, N ^{os} 76 080, 76 085, et 76 124 | Office National des Mesures, Budapest, Hongrie. |
| 20. | Règle de 700 mm, N° 504, en acier | Société Hauser, Biennes, Suisse. |
| 21. | Etalon secondaire de flux lumineux, N° 2H. (Tc 2357 et 2793 K) (addition) | Laboratoire Central d'Electricité, Rhode-Saint-Genèse, Belgique. |
| 22. | Deux étalons secondaires de flux lumineux, N ^{os} 2 D et 200 B (Tc 2357 et 2793 K) | Id. |
| 23. | Ruban de 50 m en invar, N° 200 | Direction Générale de la Métrologie, Bucarest, Roumanie. |
| 24. | Ruban de 50 m en invar, N° 505 A | National Physical Research Laboratory, Pretoria, Afrique du Sud. |
| 25. | Trois étalons de force électromotrice, Nos E 1899, E 1901 et E 1902 | Centre National d'Etudes Spatiales, Brétigny-sur-Orge, France. |

1970 (suite)

| N° | | |
|-----|---|--|
| 26. | Trois thermomètres à résistance de platine, N ^{os} 488 956, 488 957, 488 958 | Direction Générale de la Métrologie, Bucarest, Roumanie. |
| 27. | Deux thermocouples platine-rhodié/platine, N ^{os} 96 PTB 66 et 97 PTB 66 | Id. |

NOTES D'ETUDE

1970

| N° | | |
|----|--|--|
| 1. | Thermomètre Prolabo, N° 72 | Centre d'Essais en vol, Brétigny-sur-Orge, France. |
| 2. | Thermomètre Prolabo, N° 71 | Istituto di Metrologia "G. Colonnetti", Turin, Italie. |
| 3. | Deux thermomètres Prolabo, N ^{os} 304 et 305 .. | Société Anonyme Belge de Constructions Aéronautiques, Bruxelles, Belgique. |

IV. — ACTIVITÉS ET RELATIONS EXTÉRIEURES

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

En dehors des demandes habituelles de renseignements sur le Bureau International et les unités de mesure en général, le principal travail a été la mise au point finale du document « Le Système International d'Unités (SI) » établi par le Bureau International en liaison avec le Comité Consultatif des Unités. Ce document rassemble dans un ordre systématique le contenu des résolutions et des recommandations de la Conférence Générale et du Comité International des Poids et Mesures sur le SI, avec des commentaires explicatifs et des règles d'utilisation pratique. Deux Annexes complètent ce document : la première reproduit, dans leur ordre chronologique, toutes les décisions prises depuis 1889 par la Conférence Générale et le Comité International en rapport avec les unités de mesure et le SI; la seconde donne quelques indications pour la mise en pratique des définitions des principales unités.

La traduction en anglais de ce document sera publiée indépendamment par le National Bureau of Standards (États-Unis d'Amérique) et Her Majesty's Stationery Office (Royaume-Uni), contribuant ainsi à assurer la diffusion mondiale du SI.

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

L'important travail en cours depuis plusieurs années pour la publication de la 3^e édition du Vocabulaire International de l'Éclairage (édition commune à la Commission Internationale de l'Éclairage et à la Commission

Électrotechnique Internationale) est achevé. H. Moreau, secrétaire du Comité E-1.1 de la C.I.E. chargé de l'établissement de ce Vocabulaire, a terminé récemment les corrections des épreuves de cet ouvrage de 359 pages en quatre langues principales et cinq langues additionnelles qui doit sortir de presse à la fin de 1970.

Le Bureau International a mis à la disposition de l'Association Française des Utilisateurs de Petits Ordinateurs I.B.M. et de l'Association « Common » un certain nombre de programmes et sous-programmes, notamment : sous-programmes de calcul à 10^{-12} (Version 1969), programme de compression de données sur cartes et programme d'expansion complémentaire du précédent, établis par P. Carré, ainsi que plusieurs versions d'un sous-programme, établi par J. Milobedzki, permettant d'interrompre un travail en cours et de le reprendre plus tard, après exécution d'un travail plus urgent.

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

Le Bureau apporte par ailleurs, comme par le passé, sa collaboration aux travaux de divers organismes s'occupant des questions d'unités, de nomenclature et de terminologie.

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 effectué les voyages suivants :

en janvier 1970 : visite à Mr Dunworth, vice-président du Comité International, et aux laboratoires du N.P.L. à Teddington;

en février : visite à l'Institut de Métrologie G. Colonnetti, à Turin;

en avril, accompagné de P. Giacomo : réunion à Amsterdam du bureau du C.I.P.M.; à Delft, célébration du 150^e anniversaire du Système Métrique aux Pays-Bas, avec un exposé sur les récents développements concernant la réalisation des unités SI de longueur et de temps;

en mai, avec A. Sakuma : Congrès Imeko V à Versailles;

en juin : visite à Mr Branscomb et participation, avec G. Leclerc, à la « Conference on Precision Electromagnetic Measurements », N.B.S., Boulder;

en juillet : Symposium international sur les applications métrologiques de l'holographie, à Besançon; visite à Mr U. Stille et à la P.T.B., à Braunschweig; au passage, Conférence du Groupe Européen de Spectroscopie Atomique, à Hanovre;

en août, accompagné de P. Giacomo, A. Rytz et A. Sakuma : « Conference on Precision Measurement and Fundamental Constants », à Gaithersburg, où A. Sakuma a présenté un exposé sur la mesure de g ;

participation aux travaux de la 14^e Assemblée Générale de l'Union Astronomique Internationale, à Brighton;

en septembre : Colloque N° 8 (Techniques de détermination des données spectroscopiques fondamentales) de l'Union Astronomique Internationale, à Londres.

A. Allisy a participé aux réunions suivantes :

du 25 septembre au 4 octobre 1969⁺⁺ : Main Commission I.C.R.U. à Hakone (Japon); il a été à cette occasion nommé vice-président de cette Commission internationale; puis, du 6 au 12 octobre 1969, Douzième Congrès de Radiologie à Tokyo; il a profité de son séjour à Tokyo pour visiter le National Research Laboratory of Metrology et l'Electrotechnical Laboratory;

du 20 au 24 octobre 1969⁺ : Deuxième Symposium sur la Microdosimétrie organisé par Euratom à Stresa (Italie); il y a fait, en collaboration avec Mme Boutillon⁺⁺, une communication sur la « Distribution de l'énergie déposée par des neutrons à l'intérieur d'ellipsoïdes de révolution »;

le 24 octobre 1969⁺ : Groupe de travail d'experts des États membres d'Euratom sur la Dosimétrie;

du 22 au 28 mars 1970⁺⁺ : Comité I.C.R.U. « Fundamental Quantities and Units », à Teddington, et visite de la Division of Radiation Science du N.P.L.;

du 25 au 29 mai 1970 : réunion organisée par l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique, à Risø (Danemark), sur « Establishment and dissemination of uniform absorbed dose and exposure measurements »;

du 28 juin au 4 juillet 1970 : IV^e Congrès International de Radiobiologie et de Physico-Chimie des Rayonnements, Évian (France); puis, du 5 au 16 juillet 1970⁺⁺, réunion de la Main Commission I.C.R.U., à Genève.

G. Leclerc a participé, le 17 octobre 1969, à une table ronde sur « l'élément Weston » tenue au Laboratoire Central des Industries Électriques, à Fontenay-aux-Roses.

En juin 1970, il a assisté à la « Conference on Precision Electromagnetic Measurements », à Boulder, où il a présenté un exposé sur les résultats provisoires de la 12^e comparaison des étalons nationaux de force électromotrice; il a visité, à cette occasion, les sections d'électricité du N.B.S. (Gaithersburg et Boulder) et du N.R.C. (Ottawa).

A. Sakuma s'est rendu les 20 et 21 mai 1970 à l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg; il a visité les laboratoires de géophysique et deux stations d'observation des marées gravimétriques installées dans des mines voisines. Il a fait plusieurs conférences sur la mesure de g :

— le 22 octobre 1969, au Bureau des Longitudes, à Paris;

— le 12 décembre 1969, au Centre National d'Études Spatiales, à Brétigny;

— le 20 mai 1970, à la Faculté des Sciences de l'Université de Strasbourg.

A. Rytz⁺ a visité, du 17 au 23 février 1970, plusieurs laboratoires en Angleterre : National Physical Laboratory (Teddington), Atomic Energy Research Establishment (Harwell), The Radiochemical Centre (Amersham), Imperial Chemical Industries, Agricultural Division (Billingham); il a fait une conférence au N.P.L. sur les mesures absolues d'énergie alpha. Les 17 et 18 juin, il a visité le Bureau Central de Mesures Nucléaires d'Euratom (Geel) et a fait une conférence sur le même sujet.

Il s'est rendu aux États-Unis du 10 au 29 juillet 1970 où il a fait un stage au Lawrence Radiation Laboratory⁺ (Berkeley) pour la préparation des sources α , et il a donné une conférence sur les résultats récents obtenus au B.I.P.M.

V. D. Huynh et L. Lafaye ont visité du 17 au 19 février 1970 les laboratoires du National Physical Laboratory, à Teddington; puis V. D. Huynh a visité le laboratoire de la Birmingham University le 20 février 1970;

G. Girard s'est rendu au National Bureau of Standards du 31 mars au 24 avril 1970 (*voir* Masses, p. 43); il a visité ensuite au Conseil National de Recherche (Ottawa), les 27 et 28 avril, les sections qui l'intéressent plus spécialement.

En juin 1970, il a fait un exposé sur l'échelle pratique de température devant la Section d'Océanographie Physique du Comité National Français de Géodésie et Géophysique (Paris).

P. Carré et R. Hanocq se sont également rendus au N.B.S. du 15 au 24 avril pour participer au démontage et à l'emballage de la balance NBS-2; P. Carré s'est surtout intéressé aux schémas de comparaisons d'étalons et a eu, sur ce point, des conversations particulièrement utiles avec les spécialistes du N.B.S.

H. Moreau⁺ a visité les 20 et 21 mai 1970 quelques sections de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, à Braunschweig, à l'occasion d'un voyage privé.

Dans le cadre de l'information du personnel du Bureau, les exposés suivants ont été présentés :

— par J. W. Müller : suite de la série, commencée en mai 1969, sur le « Traitement statistique des résultats de mesure » (*voir* Rapports internes, p. 80);

— par P. Carré : série d'exposés sur la programmation de notre ordinateur en langage Assembleur;

— par P. Giacomo, A. Sakuma et P. Carré : Méthodes récentes de mesure de la vitesse de la lumière (19 mai 1970);

— par J.-M. Chartier : présentation de son mémoire « Étude de l'effet d'une variation rapide de la différence de marche sur la forme de la frange achromatique » (25 juin 1970).

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 citons 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), M^{lle} A.-M. Roux et Mr V. D. Huynh (Service Central de Protection contre les Rayonnements Ionisants, Paris), ont poursuivi leur participation au travail du groupe des rayons X et du groupe de mesures neutroniques de la section des rayonnements ionisants du Bureau.

Mr B. Grennberg (Institut de Physique de l'Université d'Uppsala) poursuit son stage consacré à la mesure absolue d'énergies alpha.

Mr J. Klumpar (Institut de la Recherche Nucléaire de l'Académie tchécoslovaque des Sciences, Prague) a visité la section des rayonnements ionisants le 8 octobre 1969.

Mr K. Hosoyama (International Latitude Observatory, Mizusawa,

Japon) a effectué un stage du 4 au 17 novembre 1969 à la section de gravimétrie.

Mr Colin (Institut Océanographique, Paris) a participé aux travaux de la section des masses, de novembre 1969 à avril 1970.

Mr Jain (National Physical Laboratory of India) a visité le 15 décembre 1969 nos sections des longueurs et des masses.

MM. Rouchon et Janest (Laboratoire National d'Essais, Paris) ont fait un stage de trois semaines du 23 février au 13 mars 1970 (interférométrie, longueurs).

A l'occasion de sa venue au Bureau International pour participer du 1^{er} au 3 avril 1970 à la réunion de la Section I du C.C.E.M.R.I., Mr K. Zsdanszky (Office National des Mesures, Budapest) a comparé son appareil de mesure du courant d'ionisation à celui du laboratoire des rayons X et γ du B.I.P.M.

Mr G. A. Doroféev (Agence Internationale de l'Énergie Atomique) a soumis le 29 avril 1970 des sphères radiophotoluminescentes à des expositions connues dans un faisceau de rayons γ du ^{60}Co en vue de leur étalonnage ultérieur.

M^{lle} du Préez (National Physical Research Laboratory, Pretoria) a visité nos laboratoires les 25 et 26 mai 1970.

M^{lle} M. C. Donzé (élève de l'École Normale Supérieure de l'Enseignement technique, Cachan) a fait un stage, du 1^{er} au 30 juin 1970, dans la section des rayonnements ionisants.

Mr R. Loevinger (National Bureau of Standards, Washington) est venu le 5 juin 1970 préparer une comparaison internationale d'étalons d'exposition.

M^{me} Bajeu (Institut de Métrologie, Bucarest) a effectué un stage dans la section des mesures de longueur du 9 au 19 juin 1970.

Après une visite préliminaire le 30 octobre 1969, Mr G. Bengtsson (National Institute for Radiation Protection, Stockholm) est venu effectuer du 15 au 26 juin 1970 une comparaison internationale d'étalons d'exposition dans le domaine des rayons X mous et l'étalonnage de chambres de transfert dans un faisceau de rayons γ du ^{60}Co .

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 1969.

Compte I. — Fonds ordinaires

RECETTES

| | francs-or |
|--|----------------------------|
| Actif au 1 ^{er} janvier 1969..... | 1 339 611,32 |
| Recettes budgétaires..... | 2 050 479,09 |
| Total..... | <u>3 390 090,41</u> |

DÉPENSES

| | francs-or |
|-------------------------------|----------------------------|
| Dépenses budgétaires..... | 1 851 564,63 |
| Différences de change..... | 29 121,14 |
| ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1969...: | 1 509 404,64 |
| Total..... | <u>3 390 090,41</u> |

DÉTAIL DES RECETTES BUDGÉTAIRES

Versements de contributions :

| | francs-or |
|--|----------------------------|
| au titre de l'exercice 1969..... | 1 576 882,00 |
| au titre des exercices antérieurs..... | 135 537,00 |
| au titre de l'exercice 1970..... | 187 133,00 |
| | } 1 899 552,00 |
| Intérêts des fonds..... | 55 280,28 |
| Taxes de vérification..... | 4 933,13 |
| Remboursements des taxes sur les achats..... | 89 238,72 |
| Recettes diverses..... | 1 474,96 |
| Total..... | <u>2 050 479,09</u> |

DÉTAIL DES DÉPENSES BUDGÉTAIRES

| Chapitres | Dépenses de l'exercice | | Prévisions budgétaires | | Économies | |
|--|------------------------|----------------|------------------------|-------------|------------|--|
| | francs-or | | francs-or | | francs-or | |
| A. Dépenses de personnel : | | | | | | |
| 1. Traitements..... | 926 171,49 | } 1 140 390,04 | 1010 000 | } 1 233 000 | 83 828,51 | |
| 2. Allocations familiales..... | 56 416,03 | | 60 000 | | 3 583,97 | |
| 3. Sécurité sociale..... | 47 949,66 | | 52 000 | | 4 050,34 | |
| 4. Assurance-accidents..... | 8 852,86 | | 10 000 | | 1 147,14 | |
| 5. Caisse de Retraites..... | 101 000 | | 101 000 | | - | |
| B. Dépenses de fonctionnement : | | | | | | |
| 1. Bâtiments (entretien)..... | 122 648,82 | } 451 951,24 | 137 000 | } 497 000 | 14 351,18 | |
| 2. Mobilier..... | 2 824,61 | | 5 000 | | 2 175,39 | |
| 3. Laboratoires et ateliers..... | 172 241,64 | | 175 000 | | 2 758,36 | |
| 4. Chauffage, eau, énergie électrique... | 65 832,03 | | 75 000 | | 9 167,97 | |
| 5. Assurances..... | 3 406,33 | | 5 000 | | 1 593,67 | |
| 6. Impressions et publications..... | 30 168,76 | | 35 000 | | 4 831,24 | |
| 7. Frais de bureau..... | 28 438,61 | | 34 000 | | 5 561,39 | |
| 8. Voyages..... | 15 390,44 | | 20 000 | | 4 609,56 | |
| 9. Bureau du Comité..... | 11 000 | | 11 000 | | - | |
| C. Dépenses d'investissement : | | | | | | |
| 1. Laboratoires..... | 196 461,34 | } 226 685,86 | 205 000 | } 248 000 | 8 538,66 | |
| 2. Atelier de mécanique..... | 11 514,58 | | 20 000 | | 8 485,42 | |
| 3. Atelier d'électronique..... | 5 489,47 | | 7 000 | | 1 510,53 | |
| 4. Bibliothèque..... | 13 220,47 | | 16 000 | | 2 779,53 | |
| D. Frais divers et imprévus..... | | 32 537,49 | 100 000 | | 67 462,51 | |
| E. Utilisation de monnaies non convertibles..... | | - | 30 000 | | 30 000 | |
| Totaux..... | 1 851 564,63 | | 2 108 000 | | 256 435,37 | |

Compte II. — Caisse de Retraites

RECETTES

| | |
|--|-------------------------|
| Actif au 1 ^{er} janvier 1969..... | francs-or 188 335,92 |
| Intérêts des fonds..... | 8 823,99 |
| Retenues sur les traitements..... | 40 181,06 |
| Virement du Compte I..... | 101 000,00 |
| Total..... | 338 340,97 |

DÉPENSES

| | |
|--|------------------------|
| Pensions servies..... | francs-or 84 330,90 |
| Remboursement des cotisations d'un technicien démissionnaire.... | 4 200,08 |
| Différences de change..... | 95,79 |
| ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1969..... | 249 714,20 |
| Total..... | 338 340,97 |

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

Ce compte n'a enregistré en 1969 aucun mouvement en recette ou en dépense. Comme au 1^{er} janvier 1969, il se présente ainsi :

| | |
|--------------------------------|------------------------------|
| ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1969..... | francs-or <u>8 663,59</u> |
|--------------------------------|------------------------------|

Bilan

AU 31 DÉCEMBRE 1969

| | |
|--|----------------------------|
| Compte I « Fonds ordinaires »..... | francs-or 1 509 404,64 |
| Compte II « Caisse de Retraites »..... | 249 714,20 |
| Compte III « Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique »..... | <u>8 663,59</u> |
| ACTIF NET..... | <u>1 767 782,43</u> |

Cet actif se décompose comme suit :

a. Fonds déposés en banque :

| | |
|--|-------------------------|
| 1 ^o En monnaie française..... | francs-or 377 411,40 |
| 2 ^o » U.S.A..... | 929 877,32 |
| 3 ^o » suisse..... | 433 028,73 |
| 4 ^o » britannique..... | 10 981,69 |
| 5 ^o » hongroise..... | 747,06 |
| 6 ^o » polonaise..... | 2 156,92 |

b. Espèces en caisse..... 15 583,11

c. Débiteurs divers..... 206,12

Total..... 1 769 992,35

A déduire :

Créditeurs divers..... 2 209,92

ACTIF NET..... **1 767 782,43**

PREMIER RAPPORT

DE LA SECTION I (Mesure des rayons X et γ)

DU

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

AU

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Par W. H. HENRY, Rapporteur

La Section I (Mesure des rayons X et γ) 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, du 1^{er} au 3 avril 1970 (¹).

Étaient présents : W. A. JENNINGS (National Physical Laboratory [N.P.L.], Teddington), président.

A. ALLISY (Conservatoire National des Arts et Métiers [C.N.A.M.], Paris).

G. BENGTTSSON (National Institute for Radiation Protection [N.I.R.P.], Stockholm).

A. BROSED (Junta de Energia Nuclear [J.E.N.], Madrid).

W. H. HENRY (Conseil National de Recherches [N.R.C.], Ottawa).

* 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.

(¹) Les Annexes R mentionnées dans ce rapport sont publiées dans *Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants*, Section I (Mesure des rayons X et γ), 1^{re} réunion, 1970.

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

J. W. MOTZ (National Bureau of Standards [N.B.S.], Washington).

Z. REFEROWSKI (Centralny Urząd Jakosci i Miar [C.U.J.M.], Varsovie).

A. SOMERWIL (Rijks Instituut voor de Volksgezondheid [R.I.V.], Utrecht).

H. O. WYCKOFF (International Commission on Radiation Units and Measurements [I.C.R.U.], Washington).

K. ZSDANSZKI (Országos Mérésügyi Hivatal [O.M.H.], Budapest).
Le directeur du Bureau International (J. TERRIEN).

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

Excusé : M. JUDINE (Institut de Métrologie D. I. Mendéléev [I.M.M.], Leningrad).

Assistaient également à la réunion : P. GIACOMO, sous-directeur du Bureau International, et plusieurs membres de la Section des rayonnements ionisants : A. RYTZ et J. W. MÜLLER; M^{me} M. BOUTILLON, M^{lles} M.-T. NIATEL et A.-M. ROUX (stagiaires); M^{lle} D. GUÉGAN (secrétaire).

Mr *Terrien* souhaite la bienvenue aux membres de la Section et fait un bref exposé sur l'organisation et le fonctionnement du Bureau International des Poids et Mesures. Il rappelle que ces réunions ont pour but de discuter le travail susceptible d'être entrepris par le B.I.P.M. en collaboration avec les laboratoires nationaux, ou par les laboratoires nationaux eux-mêmes, et de formuler des recommandations.

Comme il s'agit de la première réunion de la Section I, Mr *Terrien* explique que, lors de sa réunion d'octobre 1969, le Comité International des Poids et Mesures a décidé de réorganiser ses différents Comités Consultatifs. Chacun de ceux-ci coordonne les travaux scientifiques effectués dans son domaine et propose des recommandations au Comité International qui, à son tour, fait un rapport à la Conférence Générale des Poids et Mesures. Toutefois, depuis quelques années il n'a pas paru utile de convoquer le Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants et, comme le travail scientifique est effectué au sein de groupes de travail, il a été décidé de constituer dans ce Comité Consultatif 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.

Faisceaux d'électrons

Étant donné que les faisceaux d'électrons sont assez souvent utilisés en thérapie dans certains pays, il existe un besoin d'unification des mesures de ces faisceaux de particules. Les membres présents sont d'accord pour inclure les mesures de faisceaux d'électrons dans les attributions de la Section I dont le titre devrait peut-être être modifié en conséquence.

Rapports des laboratoires nationaux

Les membres de la Section exposent la situation actuelle des étalons d'exposition et de dose absorbée dans leurs laboratoires respectifs. Les rapports présentés sont donnés à l'Annexe R 1.

Étalonnages aux hautes énergies

Quelques laboratoires nationaux construisent actuellement des calorimètres en graphite destinés à servir d'étalons de dose absorbée pour la mesure des faisceaux d'électrons et de photons dans un domaine d'énergie allant jusqu'à 50 MeV. Quand ces nouveaux étalons seront terminés, il restera à faire un travail important pour établir les performances des instruments de référence aux énergies de photons et d'électrons élevées par rapport aux résultats d'étalonnages effectués avec les rayons γ du ^{60}Co . Il est possible d'éviter un étalonnage direct des instruments aux énergies élevées en utilisant, pour des instruments sélectionnés, un étalonnage de référence effectué au ^{60}Co , ainsi que des facteurs de correction estimés pour les énergies plus élevées.

Comparaisons internationales

a) *Comparaison au B.I.P.M. d'étalons d'exposition dans le domaine de 10 à 50 kV.* — Mr *Allisy* résume brièvement les comparaisons directes qui ont eu lieu dans le domaine des rayons X mous entre l'étalon d'exposition du B.I.P.M. et ceux du N.B.S., du N.R.C. et du R.I.V. (Annexe R 2). Dans chaque cas l'écart entre les résultats est très faible, ce qui confirme que seule une comparaison directe d'étalons d'exposition est utile. Une comparaison effectuée à l'aide d'un instrument de transfert ne permettrait pas de déceler ce faible écart.

Mr *Somerwil* relate le cas d'un instrument de transfert dont la réponse a varié de près de 1 % entre deux comparaisons (Annexe R 3).

Cela confirme l'intérêt limité que présentent les instruments de transfert pour de telles comparaisons.

Il ressort des comparaisons directes effectuées au Bureau International que la correction pour le rayonnement diffusé est une des causes d'incertitude les plus grandes dans le cas de mesures effectuées avec des chambres à parois d'air. Mr *Somerwil* fait état de quelques mesures du rayonnement diffusé faites à la suite des comparaisons internationales mentionnées ci-dessus (Annexe R 4).

Les laboratoires nationaux qui n'ont pas encore participé aux comparaisons effectuées directement au B.I.P.M. sont invités à le faire. Le Président de la Section écrira à ce sujet à l'Institut de Métrologie D. I. Mendéléev.

b) Comparaison d'étalons d'exposition au rayonnement γ du ^{60}Co . — Une discussion a lieu sur l'extension des comparaisons d'étalons d'exposition aux rayons γ du ^{60}Co . La mesure du rayonnement du ^{60}Co est particulièrement importante à cause de son emploi possible comme base d'étalonnage d'instruments aux énergies élevées. Il est convenu que, comme dans le cas des rayons X mous, les étalons d'exposition devraient être comparés directement, plutôt que par l'intermédiaire d'un instrument de transfert, et que le faisceau de rayons γ de la source de cobalt du B.I.P.M., dont le rayonnement diffusé est limité au minimum, conviendrait pour ces comparaisons.

Dans le but de déceler d'éventuelles erreurs systématiques, et de les réduire, il a paru souhaitable de comparer, dans un premier stade, des chambres d'ionisation de conceptions très différentes, comme celles du N.B.S. (chambre sphérique), du N.R.C. (chambre cylindrique) et de la P.T.B. (chambre cylindrique à plaques parallèles); il est convenu d'organiser des mesures avec ces chambres au Bureau International en 1970 ou 1971. Étant donné les écarts constatés, il est par ailleurs jugé utile d'inviter l'I.M.M. à participer rapidement à ces comparaisons, d'autant plus que ce laboratoire utilise une chambre à parois d'air sous pression. Bien que le B.I.P.M. prévoie dans son programme de travail de réduire l'incertitude de ses mesures de débit d'exposition (incertitude qui est actuellement d'environ 1 %), cela ne constitue pas un obstacle à la comparaison immédiate des étalons d'exposition.

Il est recommandé que la Section I du C.C.E.M.R.I. se réunisse au printemps 1972 pour étudier les résultats de ces comparaisons.

Les comparaisons des étalons d'exposition des autres laboratoires nationaux et de l'A.I.E.A. seront entreprises dès que l'organisation semblera satisfaisante.

c) Comparaisons utilisant des sources de ^{60}Co . — Mr *Allisy* rend compte des mesures comparatives de l'activité d'un grain de cobalt faites par le B.I.P.M. et le N.B.S. Le N.B.S. a utilisé une méthode calo-

rimétrique, tandis que le B.I.P.M. a utilisé une méthode de comparaison de deux sources de même géométrie, mais d'activités différentes, l'activité de la source faible étant déterminée, après dissolution, par comptage $4\pi\beta\text{-}\gamma$. Ce travail est résumé dans l'Annexe R 5, paragraphe V.

La mesure du débit d'exposition qui est faite actuellement à une distance de 1 m du grain de cobalt est rendue difficile par la faible activité de la source (< 1 Ci).

Ce grain de cobalt est à la disposition des laboratoires qui désireraient mesurer son activité.

d) Comparaison d'étalons de dose absorbée. — La comparaison d'étalons de dose absorbée présente plusieurs difficultés. D'abord, les calorimètres qui sont actuellement en construction dans plusieurs laboratoires ne seront pas en état de fonctionnement avant 1971. Quand ils seront terminés, une comparaison directe sera très difficile, car les étalons ne seront pas transportables. Une comparaison indirecte serait possible en faisant des mesures dans un bloc de graphite dans le faisceau de cobalt du Bureau International, au moyen des chambres de transfert en graphite des laboratoires nationaux. Une autre solution consisterait à expédier aux différents laboratoires une source de ^{60}Co produisant un faisceau collimaté de rayons γ . A la lumière des connaissances actuelles il n'a pas été possible, au cours de cette réunion, d'établir quelle est la meilleure méthode.

Il a donc été convenu que, lors de sa 2^e réunion prévue pour le printemps 1972, la Section I du C.C.E.M.R.I. étudie quelle est la méthode la plus appropriée pour comparer les étalons de dose absorbée, de façon à mettre un tel programme sur pied le plus rapidement possible.

e) Comparaisons récentes. — L'Annexe R 6 donne la liste des comparaisons effectuées depuis 1965, dont les membres de la Section ont connaissance.

Il est important que le Bureau International des Poids et Mesures soit régulièrement tenu au courant des comparaisons organisées par les laboratoires nationaux, pour que les comptes rendus puissent être mis à la disposition des autres laboratoires.

Activités similaires d'autres organisations internationales (A.I.E.A., O.M.S.)

Mr *Eisenlohr* décrit le travail effectué à l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (A.I.E.A.) dans le but d'améliorer les mesures de dose absorbée avec les sources de ^{60}Co utilisées dans les pays en voie de développement. Ce programme, qui bénéficie de l'appui de l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S.), consiste à expédier aux intéressés des dosimètres utilisant la thermoluminescence et repose sur une valeur

de référence obtenue par irradiation de capsules dans trois laboratoires nationaux (N.B.S., N.P.L. et P.T.B.). Les laboratoires de l'A.I.E.A. sont maintenant équipés d'une source de ^{60}Co et espèrent qu'après étalonnage celle-ci pourra servir de référence.

Mr *Eisenlohr* mentionne également la réunion organisée conjointement par l'A.I.E.A. et l'O.M.S. à Risö, du 25 au 29 mai 1970, sur le sujet « Absolute determination of radiation dose and absorbed dose standards ». Il existe quelques chevauchements avec les préoccupations de la Section I du C.C.E.M.R.I., mais la réunion de Risö étudiera plus spécialement les moyens de répandre largement des méthodes uniformes de mesure de la dose absorbée, comme les dosimètres chimiques de Fricke et les dosimètres utilisant la thermoluminescence.

Le programme de l'O.M.S. est également évoqué. Un groupe d'experts a recommandé que des laboratoires régionaux, équipés d'instruments de référence étalonnés au moyen des étalons d'exposition d'un laboratoire national, soient créés pour étalonner les instruments utilisés pour des mesures de routine dans les régions concernées, cela afin de contribuer à l'uniformité des mesures. Deux laboratoires de ce type sont déjà en projet, l'un à Bucarest, l'autre à Buenos Aires.

Questions diverses

a) *Instruments utilisés en radioprotection.* — Mr *Jennings* signale qu'en Grande-Bretagne on demande actuellement d'étudier un instrument de mesure des débits d'exposition que l'on rencontre en radioprotection et qui sont soumis à la législation. Un instrument de référence a déjà été mis au point au N.P.L. Étant donné que l'exactitude exigée est relativement faible et que le problème présente un intérêt limité pour les autres laboratoires nationaux, aucune décision ne semble nécessaire actuellement, mais le problème pourra être reconsidéré ultérieurement.

b) *Dosimétrie dans le domaine des mégarads.* — Mr *Jennings* mentionne que le N.P.L. a reçu une demande officielle pour des étalons de dose absorbée, dans le domaine de 10 krad à 10 Mrad, dans des faisceaux de ^{60}Co et des faisceaux d'électrons. Cette demande découle du fait que ces rayonnements sont utilisés pour stériliser les produits pharmaceutiques et peut-être certaines denrées alimentaires. Mais dans ce cas également, étant donné l'intérêt limité que présente le problème pour les autres pays et le peu d'exactitude demandé, aucune décision ne semble nécessaire actuellement; toutefois, la question pourrait être reprise ultérieurement.

c) *Mesures de débits de dose absorbée très élevés.* — Les problèmes de la mesure de doses absorbées délivrées par de brèves impulsions (quelques nanosecondes) à des débits élevés (par exemple 10^{14} rads par seconde) sont évoqués, mais aucune recommandation n'est faite.

d) *Détermination du débit de fluence énergétique de la source de ^{60}Co du B.I.P.M.* — Mr Motz pense qu'étant donné la pureté du faisceau de la source de ^{60}Co du B.I.P.M., il est possible de déterminer non seulement l'exposition, mais également le débit de fluence énergétique. Le débit de fluence énergétique d'une source peut être exprimé en unités telles que le watt par mètre carré, mais il a été signalé que le passage aux grandeurs fondamentales entraîne une diminution de l'exactitude. La puissance par unité d'angle solide serait une grandeur utile pour caractériser une source.

e) *Travaux du B.I.P.M.* — Le groupe chargé des mesures de rayons X et γ au Bureau International donne un aperçu des travaux effectués. Ces travaux, qui se situent dans la ligne des mesures d'un niveau très élevé faites au B.I.P.M., sont résumés dans l'Annexe R 5.

f) *Bourse de recherche au B.I.P.M.* — Mr Motz propose que les laboratoires nationaux financent une bourse qui permettrait au Bureau International des Poids et Mesures d'inviter un physicien à se rendre à Sèvres pour y effectuer un travail donné. Cette proposition est chaleureusement accueillie par tous les membres qui donnent leur accord pour qu'une recommandation soit soumise à l'attention du C.I.P.M.

Résumé des principales conclusions

1. La mesure des faisceaux d'électrons devrait être incluse dans le programme de travail de la Section I, dont le titre devrait peut-être être modifié en conséquence.

2. Il est souhaitable de continuer à effectuer au B.I.P.M. des comparaisons directes d'étalons d'exposition dans le domaine des rayons X mous (10 à 50 kV); les laboratoires nationaux qui n'y ont pas encore participé sont invités à le faire.

3. Des comparaisons directes d'étalons d'exposition dans le domaine des rayons γ du ^{60}Co seront effectuées dans le faisceau de rayonnement du B.I.P.M. Elles débiteront par la comparaison, en 1971, des étalons d'exposition du N.B.S., du N.R.C. et de la P.T.B.

4. Il est hautement souhaitable d'entreprendre le plus rapidement possible des comparaisons d'étalons de dose absorbée, mais l'état actuel des connaissances ne permet pas d'établir quelle est la méthode de comparaison la plus appropriée.

5. La Section I du C.C.E.M.R.I. se réunira au printemps 1972 pour :

a) étudier les résultats des comparaisons d'étalons d'exposition recommandées dans le domaine des rayons γ du ^{60}Co ;

b) recommander un programme de comparaisons d'étalons de dose absorbée.

6. Les problèmes posés par la mesure de débits d'exposition utilisés en radioprotection, de débits d'exposition et de doses absorbées élevés ne doivent pas être perdus de vue.

7. Il est recommandé que les laboratoires nationaux financent une bourse de recherche au B.I.P.M.

(25 septembre 1970)

CINQUIÈME RAPPORT

DU

COMITÉ CONSULTATIF
POUR LA DÉFINITION DE LA SECONDE

AU

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Par B. GUINOT, Rapporteur

Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (C.C.D.S.) a tenu sa 5^e session au Bureau International des Poids et Mesures, à Sèvres, les jeudi 18 et vendredi 19 juin 1970 (*).

Étaient présents : J. V. DUNWORTH, président.

Les délégués des laboratoires et organisations membres :

Bureau International de l'Heure [B.I.H.], Paris (B. GUINOT, M. GRANVEAUD).

Bureau des Longitudes, Paris (J. KOVALEVSKY).

Comité Consultatif International des Radiocommunications [C.C.I.R.] de l'Union Internationale des Télécommunications, Genève (J. T. HENDERSON).

Commission Nationale de l'Heure, Paris (B. DECAUX).

Conseil National de Recherches [N.R.C.], Ottawa (H. DAAMS).

Institut des Mesures Physicotechniques et Radiotechniques de l'U.R.S.S. [I.M.P.R.], Moscou (B. I. VLASSOV).

Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris [I.E.N.], Turin (C. EGIDI, S. LESCHIUTTA).

Laboratoire de l'Horloge Atomique du C.N.R.S., Besançon, Bagnoux, Orsay (M. ARDITI, M. AUDOIN).

Laboratoire Suisse de Recherches Horlogères [L.S.R.H.], Neuchâtel (P. KARTASCHOFF).

(*) Les Annexes S mentionnées dans ce rapport sont publiées dans *Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde*, 5^e session, 1970.

National Bureau of Standards [N.B.S.], Boulder (J. A. BARNES).
National Physical Laboratory [N.P.L.], Teddington (J. McA.
STEELE).
Physikalisch-Technische Bundesanstalt [P.T.B.], Braunschweig
(G. BECKER).
Royal Greenwich Observatory, Hailsham (H. M. SMITH).
Union Astronomique Internationale (H. M. SMITH, B. GUINOT).
U.S. Coast Guard, Washington (H. S. PEARSON, C. E. POTTS).
U.S. Naval Observatory, Washington (G. M. WINKLER).

Les membres nominativement désignés :

J. BONANOMI, Neuchâtel.

A. ORTE, San Fernando.

Le directeur du Bureau International (J. TERRIEN).

Assistaient aussi à la session : A. MARÉCHAL, membre du Comité International des Poids et Mesures; P. GIACOMO, sous-directeur du Bureau International et P. CARRÉ (Bureau International); M^{me} V. M. Kalintseva, interprète.

Absents : Deutsches Amt für Messwesen und Warenprüfung, Berlin; National Research Laboratory of Metrology, Tokyo et Radio Research Laboratories, Tokyo.

Le *Président* ouvre la séance et transmet au Comité Consultatif les vœux de succès de la part de Mr Barrell, président du C.C.D.S. lors des 3^e et 4^e sessions. Mr Decaux, qui avait rempli les fonctions de rapporteur lors des réunions antérieures du C.C.D.S., a demandé à ne plus assurer cette fonction. Après avoir remercié Mr Decaux pour le travail qu'il a accompli, le *Président* propose de confier la tâche de rapporteur à Mr Guinot; cette proposition est approuvée.

Après les souhaits de bienvenue, le *Président* demande si l'on souhaite des additions à l'ordre du jour. Mr *Barnes* propose d'inclure dans le point 1 une discussion sur la relation entre les unités de temps et de longueur. On passe ensuite à l'examen des différents points de l'ordre du jour.

1. Progrès des étalons atomiques de fréquence

Les documents distribués dispensant d'exposés complets, le *Président* invite MM. Barnes, Becker et Kartaschoff à en résumer les points les plus importants.

Mr *Barnes* expose les travaux accomplis au National Bureau of Standards (Boulder) sur le laser hélium-néon asservi sur une raie d'absorption saturée du méthane. Trois sources ont été construites et leurs fréquences sont en accord à 10^{-11} près; par comparaison des sources entre elles, on constate des stabilités de 1×10^{-14} . Toutes les causes d'erreurs sur les fréquences n'ont pas encore été évaluées; l'effet de recul des molécules

sous l'action des photons peut introduire une asymétrie sur le profil de la raie conduisant à une erreur de 1×10^{-11} . La synthèse des fréquences jusqu'à la fréquence du méthane (10^{14} Hz) reste un problème délicat. Jusqu'à présent, la fréquence la plus élevée mesurée d'une manière absolue atteint seulement un tiers de la fréquence du méthane.

Mr *Becker* fait le point sur les progrès des étalons à jet de césium. Il distingue les étalons de temps commerciaux et ceux construits par les laboratoires. Les étalons commerciaux ont des possibilités bien connues : inexactitude de l'ordre de 1×10^{-11} , défaut de stabilité sur un an de quelques 10^{-13} . Les étalons de laboratoire continuent à faire l'objet de recherches en vue d'améliorer leur exactitude. Les progrès sont liés à l'amélioration du champ magnétique et à la cohérence de phase des deux cavités de Ramsey. Le champ donne une limite d'exactitude de 10^{-14} . Pour réduire les effets dus à la dissymétrie entre les cavités, on peut soit moduler la vitesse des atomes (méthode appliquée à la Physikalisch-Technische Bundesanstalt), soit renverser le jet (méthode essayée dans plusieurs laboratoires). A présent, les meilleurs étalons ont une exactitude d'environ 5×10^{-13} . Les étalons de laboratoire ne fonctionnent pas d'une façon continue; des étalons secondaires doivent garder la mémoire de leur fréquence : cela peut être le rôle des étalons commerciaux qui fonctionnent comme des horloges.

Mr *Becker* précise que, à présent, l'exactitude des étalons à jet de césium est limitée par l'effet Doppler du second ordre. L'amélioration future exigera une connaissance précise de la vitesse des atomes.

Mr *Kartaschoff* expose les problèmes rencontrés dans le développement du maser à hydrogène. Par comparaison avec les étalons à césium, les masers à hydrogène montrent des désaccords entre leurs fréquences de l'ordre de quelques 10^{-12} ; ces désaccords sont dus essentiellement aux effets de paroi dans le ballon de stockage. Pour extrapoler la fréquence pour un effet de paroi nul, il n'est pas suffisant d'avoir deux ballons de dimensions différentes : en effet, on peut ainsi être conduit à une erreur de 3×10^{-12} . Des mesures répétées au National Bureau of Standards et à l'Université Harvard, avec un très grand nombre de ballons, ont conduit à une valeur améliorée de la fréquence de l'hydrogène :

$$1\ 420\ 405\ 751,768 \pm 0,002\ \text{Hz.}$$

De nouvelles méthodes pour mesurer l'effet de paroi sont en cours de mise au point : utilisation d'un très grand ballon (au prix de difficultés de revêtement), utilisation d'un ballon déformable à surface constante (Université Harvard), recherche de la température à laquelle l'effet de paroi est nul, recherche sur un étalon à jet d'hydrogène avec ballon de stockage intermédiaire. En conclusion, il n'apparaît pas impossible que l'étalon à hydrogène puisse surpasser l'étalon à césium comme étalon d'intervalle de temps, et les recherches doivent continuer.

2. État actuel des échelles atomiques de temps fondées sur la définition de la seconde

Mr *Guinot* donne quelques indications sur les principes qui l'ont guidé pour établir l'échelle de temps atomique international du Bureau International de l'Heure (B.I.H.), les détails du mode de calcul actuel étant publiés dans le Rapport annuel du B.I.H. pour 1969. Historiquement, l'intérêt du B.I.H. pour le temps atomique a été motivé par le désir d'avoir une référence pour étudier la rotation terrestre; cependant, l'échelle du B.I.H. a suivi les progrès techniques de sorte que son usage puisse être aussi étendu que possible. L'échelle du B.I.H. est une échelle moyenne, fondée sur toutes les informations envoyées au Bureau. La mise en pratique, à la fin de 1968, de comparaisons de temps dans le domaine de la microseconde par transport d'horloge, par télévision et surtout par la réception des impulsions de Loran-C, a imposé un choix dans les critères de l'échelle du B.I.H. Ce choix découle des propriétés des étalons de temps commerciaux qui sont presque exclusivement utilisés pour former l'échelle, propriétés rappelées par Mr Becker. L'excellente stabilité à long terme de ces étalons permet de construire une échelle d'un haut degré d'uniformité. Mais la comparaison de l'unité de l'échelle avec la durée de la seconde telle qu'elle est fournie par les étalons primaires des laboratoires pourrait révéler des défauts d'exactitude.

Mr *Guinot* souhaite recevoir de la part du C.C.D.S. des indications sur les compromis à adopter pour avoir à la fois une bonne exactitude et une bonne uniformité. Le compromis adopté à présent par le B.I.H. en l'absence d'indications de la part des Unions scientifiques, est de conserver l'uniformité aussi longtemps que possible et d'ajuster l'unité de l'échelle par saut de fréquence seulement si les expériences des laboratoires montrent un défaut d'exactitude significatif.

Le *Président* rappelle que, directement ou indirectement, les États-Unis d'Amérique ont un rôle prépondérant dans l'établissement du temps atomique. Il invite Mr Winkler à parler de l'échelle de temps de l'U.S. Naval Observatory de Washington et Mr Potts du système Loran-C.

L'échelle de l'U.S. Naval Observatory avait d'abord été établie sur une base internationale. Mr *Winkler* explique qu'elle est établie maintenant à l'aide d'un groupe d'étalons commerciaux et de masers à hydrogène de cet observatoire (Annexe S 7). Le mode de calcul exposé garantit une grande uniformité; on peut s'assurer en outre, par considération de différents groupes d'étalons, que l'échelle est aussi très exacte, sans doute à $\pm 5 \times 10^{-13}$. L'échelle de l'U.S. Naval Observatory sert de référence pour des systèmes techniques (navigation, recherche spatiale) et aussi pour l'astronomie (représentation pratique du temps des éphémérides). Pour les systèmes techniques, l'uniformité est d'une importance primor-

diale, de sorte que les précautions sont prises pour que l'introduction ou le retrait d'horloges contribuant à la formation de l'échelle de temps n'apporte pas de sauts de fréquence. La distribution de cette échelle est réalisée par les émissions de fréquences étalons sur ondes très longues, par Loran-C (précision : $0,5 \mu\text{s}$), par télévision et aussi, expérimentalement, par satellites. Mr *Winkler* insiste sur le fait que les comparaisons de temps très précises entre horloges distantes n'ont couramment lieu que depuis un ou deux ans; il convient donc d'être prudent, notamment pour les pondérations. On a constaté des erreurs inexplicables dans certains cas, notamment dans les comparaisons de temps entre l'U.S. Naval Observatory à Washington et le National Bureau of Standards à Boulder, par l'intermédiaire des émissions de Loran-C; des fluctuations de 1 à $2 \mu\text{s}$ des temps de propagation semblent exister.

Mr *Potts* donne des indications sur le système Loran-C. La première chaîne (East Coast) a été mise en service en 1957, pour les besoins de la navigation. Comme le taux de récurrence était un sous-multiple exact de la seconde, il est rapidement devenu évident que l'émission pouvait servir à la distribution du temps. Un premier travail a été accompli par le National Bureau of Standards et l'U.S. Naval Observatory, et une impulsion supplémentaire a été transmise chaque seconde en synchronisme avec l'horloge maîtresse de l'U.S. Naval Observatory. Durant les dernières années, trois nouvelles chaînes ont été synchronisées en permanence et une (Méditerranée) temporairement. On envisage de synchroniser les huit chaînes en service; sept de ces chaînes sont déjà pourvues d'horloges à césium. La diffusion précise du temps offre l'avantage de permettre des études, telles que celles de Mr Bonanomi et d'autres, sur la propagation et la conductivité (transport d'horloges et de récepteurs au voisinage des émetteurs pour vérifier les instants d'émission, mesures le long de trajets terrestres de conductivités différentes). L'expérience acquise après plus d'un demi-million d'heures de fonctionnement montre l'excellente qualité des étalons commerciaux à césium. Les spécifications des constructeurs sont très largement sous-estimées. La dispersion des fréquences des étalons, tels qu'ils sont fournis par les constructeurs et sans réglage, ne dépasse pas 5×10^{-12} . Après réglages, elle reste de quelques 10^{-13} , à long terme.

Mr *Terrien* demande si l'on observe un écart systématique entre la fréquence des étalons primaires des laboratoires et la fréquence moyenne d'un grand nombre d'étalons commerciaux. Mr *Winkler* répond que, d'après les horloges de l'U.S. Naval Observatory, cette différence n'excède pas 3×10^{-13} . Cela est confirmé par l'échelle du B.I.H. qui comprend d'autres groupements d'étalons commerciaux.

Mr *Barnes* ne croit pas que l'uniformité d'une échelle de temps et l'exactitude de son unité soient réellement incompatibles, et il estime qu'on peut facilement trouver un compromis. Des indications sur ce

point se trouvent dans un rapport de l'U.S. Naval Observatory distribué juste avant la séance par Mr Winkler (*voir* le résumé à l'Annexe S 7).

Dans le calcul de l'échelle de temps atomique de l'U.S. Naval Observatory, par moyenne des indications d'horloges, une pondération par horloge avait été utilisée jusqu'à il y a deux ans. Cette pondération a été abandonnée pour deux raisons: d'une part, elle attribuait un rôle trop important à un petit nombre d'horloges, diminuant ainsi l'intérêt de la moyenne, d'autre part, elle reposait sur les propriétés passées des horloges. A présent, le calcul repose sur la comparaison de 25 à 30 horloges à césium commerciales, maintenues aussi indépendantes que possible. Pour cela, on mesure les variations de phases relatives, à la fréquence de 1 MHz, entre toutes les horloges et deux ou trois d'entre elles prises comme références. Les mesures, portant sur des intervalles consécutifs de trois heures, sont analysées tous les cinq jours. Lorsqu'une horloge montre une variation de fréquence significative par rapport à la fréquence moyenne de tout l'ensemble, elle est éliminée et le calcul est repris sans elle. Ces éliminations peuvent être répétées par étapes successives. Le nombre d'éliminations est, en général, d'un ou deux et il reste, en permanence, environ 16 horloges dont la moyenne des indications non pondérées fournit l'échelle de temps. Une nouvelle horloge n'est introduite dans le système qu'après une période de deux mois pendant lesquels sa correction de fréquence, par rapport à l'ensemble, est déterminée. Ces précautions étant prises, il ne semble pas qu'une dérive en fréquence de la moyenne puisse dépasser 1×10^{-13} .

A la demande de Mr Guinot, Mr Winkler précise que les horloges sont à présent conservées dans le système avec des corrections de fréquence dont la moyenne n'est pas nulle; il en résulte que l'addition successive de nouveaux étalons peut conduire à une dérive indéfinie de la durée de l'unité de l'échelle moyenne par rapport à la seconde. Mais le grand nombre d'étalons utilisés permettrait de remédier à cette situation en conservant nulle en permanence la correction moyenne de fréquence de l'ensemble des étalons.

En réponse à une question de Mr Leschiutta, Mr Winkler indique que les corrections de fréquence sont faites par le calcul; il y a intérêt à ne jamais modifier une horloge (par opposition à un étalon de fréquence qui doit être réglé pour donner la fréquence la plus exacte).

Mr Barnes demande quel est le critère d'élimination. Mr Winkler répond qu'il est extrêmement facile de faire la distinction entre les erreurs accidentelles des fréquences et une perturbation dans le fonctionnement d'une horloge.

3. Définition d'une échelle de temps atomique international tenant compte, en particulier, des effets relativistes

D'après Mr Becker, il y a lieu de distinguer entre le concept d'un temps idéal et l'approximation avec laquelle il peut pratiquement être

réalisé. Le temps idéal, appelé « temps terrestre » par exemple, doit être défini dans un système de référence gravitationnel; est-ce la surface du géoïde ou un point spécifique de la Terre qui convient le mieux ? Il faut cependant éviter d'introduire implicitement dans la définition une théorie de la relativité; à cet égard, le choix d'un point de la Terre comme lieu de référence est plus satisfaisant mais, dans la pratique, il impose des corrections plus compliquées à l'utilisateur, puisqu'il faut connaître les potentiels de gravitation en deux points. L'approximation réalisée en pratique pourra s'appeler le « temps international ».

Mr *Winkler* estime qu'il n'y a pas lieu d'introduire de nouvelles notations et propose de conserver l'appellation de « Temps Atomique International » à l'échelle de temps réalisée. La Conférence Générale des Poids et Mesures a déjà défini la seconde; il importe que nous ne donnions pas une nouvelle définition par l'intermédiaire de la définition d'une échelle de temps. C'est donc la définition pratique de l'échelle de temps qui nous concerne. Les points à examiner sont les suivants : 1° la conduite du calcul (pondération en particulier); 2° les changements de fréquence destinés à maintenir l'exactitude de l'unité de l'échelle, par exemple à $\pm 1 \times 10^{-12}$, par des changements aussi peu fréquents que possible (tous les 5 ans); 3° le lieu de référence (le pôle, sur le géoïde, conviendrait car on supprime ainsi les effets de la rotation terrestre); 4° les méthodes de dissémination du temps atomique international.

Le *Président* propose que Mr *Guinot* forme une commission chargée de rédiger la définition du temps atomique international. Il faut que la discussion qui va suivre éclaire suffisamment cette commission pour qu'elle puisse travailler efficacement.

La discussion porte sur la référence spatiale du temps atomique international. Aucune Union n'a encore exprimé une opinion sur ce problème. Le désir de ne pas faire appel à une théorie et celui de permettre les développements au niveau de précision le plus élevé font préférer à la plupart des participants un point de référence spécifié. Mr *Kovalevsky*, en particulier, attire l'attention sur les insuffisances de la définition du géoïde. Selon Mr *Smith*, ces difficultés peuvent être évitées si l'on se borne à définir pratiquement l'échelle de temps.

Les problèmes soulevés par la pondération ne peuvent pas être traités dans le détail, pour le moment, estime Mr *Winkler*. On ne peut que recommander d'en poursuivre l'étude. Il faut, en particulier, décider de l'usage qu'on fera des étalons isolés.

En ce qui concerne les problèmes de l'exactitude et de l'uniformité du temps atomique international, MM. *Becker* et *Winkler* estiment qu'il faut continuer à opérer comme à présent, c'est-à-dire maintenir aussi constante que possible la durée de l'unité de l'échelle. Cette durée doit être comparée à la seconde fournie par les étalons primaires et ajustée à la

seconde par sauts, si c'est nécessaire. Mr *Barnes* pense qu'un ajustement progressif de cette durée est possible, car les effets sont si petits que cet ajustement ne se sépare pas des dérives qu'on peut attendre des étalons commerciaux. La préférence des participants va cependant au maintien du plus haut degré possible d'uniformité. Pour le maintien de l'exactitude, il importe d'encourager les laboratoires à continuer les recherches sur les étalons primaires et à communiquer leurs résultats au B.I.H.

La commission, animée par Mr Guinot, comprenait MM. Barnes, Becker, Bonanomi, Henderson, Kovalevsky, Smith, Steele, Terrien, Winkler. Elle s'est réunie après la séance de l'après-midi du jeudi 18 juin et a préparé un texte contenant une définition et des recommandations. La définition de l'échelle de temps atomique international est essentiellement pratique. Les recommandations donnent au B.I.H. les indications nécessaires comme base de son travail. La commission a discuté un problème important qui n'avait pas été évoqué auparavant. En effet, Mr *Becker* souhaite que le C.C.D.S. propose une définition du temps qui soit légalement utilisée. D'après lui, l'écart entre le temps universel et le temps qui sera prochainement diffusé par les signaux horaires (temps atomique à sauts d'une seconde destinés à suivre approximativement le TU) devient trop important pour qu'on puisse continuer à affirmer que le TU est la base des temps légaux. Il faut donc que le C.C.D.S. définisse l'échelle de temps atomique à sauts. Cette opinion n'est pas suivie par la majorité des membres de la commission et l'on a préparé seulement la définition du temps atomique pur, c'est-à-dire sans décalage de fréquence ni sauts de temps, qui devra servir de base aux systèmes de coordination de la diffusion du temps. Ce choix a été entériné par l'ensemble des membres du Comité Consultatif (*voir 4*).

Le texte de la définition et des recommandations établi par la commission fait l'objet de discussions et d'améliorations. Mr *Terrien* précise que seule la définition sera soumise à la Conférence Générale des Poids et Mesures, en 1971. Mr *Becker* propose d'inclure dans la définition les recommandations qui traitent de la durée de l'unité de l'échelle et de son origine; cela n'est pas accepté, car c'est à dessein que l'on a omis toute référence au mode de réalisation de l'échelle qui aurait impliqué une référence à une théorie de la relativité. Mr *Egidi* propose de définir un décompte décimal des secondes destiné à remplacer le compte par minutes, heures et jours; Mr *Winkler*, qui utilise déjà un tel décompte, souhaite qu'on attire l'attention sur ce problème; Mr *Smith* pense que cela pourrait éviter l'apparition de nouvelles unités comme la fraction décimale du jour; Mr *Becker* demande une définition formelle des multiples de la seconde : minute, heure, ... A cette dernière demande, Mr *Terrien* rappelle que ces unités ont déjà été acceptées par le Comité Consultatif des Unités, à cause de la législation pratique (km/h, kWh, etc.). Le *Président* propose que le décompte décimal des secondes soit aussi examiné par le Comité Consultatif des Unités.

4. Maintien et diffusion de l'échelle de temps atomique international.

Tâches respectives du B.I.H. et du B.I.P.M.

Problèmes financiers

Le *Président* estime qu'il est impossible que le Bureau International des Poids et Mesures gère un laboratoire indépendant pour établir l'échelle de temps atomique international : le coût en serait trop élevé; il est, d'autre part, admis par l'ensemble des membres du Comité Consultatif qu'il y a avantage, au moins pour les quelques prochaines années, à ce que le même organisme s'occupe du temps astronomique et du temps atomique. Le B.I.H. devrait donc établir l'échelle de temps atomique international. Il faut pour cela qu'il puisse compter sur l'appui des laboratoires qui collaborent avec lui et sur la continuation des services rendus par les États-Unis. Bien que le B.I.H. ait essentiellement le rôle d'un bureau de calculs, il est nécessaire que son personnel soit familiarisé avec les problèmes expérimentaux et qu'il dispose pour cela d'un laboratoire horaire.

En dehors de l'allocation annuelle de la Fédération des Services permanents d'Astronomie et de Géophysique (F.A.G.S.), qui couvre seulement environ 1/20 de ses frais, le B.I.H. fonctionne grâce à la collaboration bénévole des laboratoires et à l'appui de l'Observatoire de Paris. Mr *Pearson* assure de la coopération des États-Unis pour l'emploi du Loran-C : ce système doit continuer à fonctionner pendant 5 à 10 ans au moins et l'on continuera à l'améliorer pour la distribution du temps. Mr *Winkler* mentionne que la coopération entre l'U.S. Naval Observatory et l'Observatoire de Paris, aussi bien pour l'astronomie que pour le temps atomique, doit continuer et que les transports d'horloge et les prêts d'équipement seront maintenus. Enfin, Mr *Terrien*, après une conversation personnelle avec le directeur de l'Observatoire de Paris, assure que cet Observatoire est disposé à continuer ses efforts en faveur du B.I.H.; les crédits de l'Observatoire suivent cependant les décisions du Gouvernement français et peuvent être réduits.

Mr *Guinot* serait désireux d'obtenir, pour les quelques années à venir, une allocation d'environ 12 000 dollars U.S., qui lui permettrait de payer un technicien hautement qualifié et d'assurer la publication et l'envoi de circulaires. Grâce à l'aide technique proposée par les laboratoires, il lui serait ainsi possible de garantir la continuité du travail sur le temps atomique, quels que soient les problèmes financiers de l'Observatoire de Paris.

Cette somme, remarque Mr *Henderson*, est très modique, puisqu'elle ne couvrirait que le dixième des frais de fonctionnement du B.I.H. Le *Président* propose de demander à la Conférence Générale des Poids et Mesures que cette allocation soit versée jusqu'en 1975. D'après des conversations privées qu'il a eues, certains grands pays accepteraient que cette somme soit fournie par une augmentation de leur contribution

au Bureau International des Poids et Mesures. Mr *Terrien* propose de demander aux membres du Comité International des Poids et Mesures de consulter leurs autorités nationales afin de savoir si elles pourraient contribuer à cette allocation. Mr *Vlassov* déclare que l'U.R.S.S. reconnaît que l'échelle de temps atomique établie par le B.I.H. est utile pour la comparaison et l'étude des échelles nationales; l'U.R.S.S. estime donc nécessaire de poursuivre l'établissement de cette échelle et normal que des crédits supplémentaires y soient affectés par la Conférence Générale. L'étalon de l'U.R.S.S. reproduit la seconde du Système International à $\pm 2 \times 10^{-12}$ près. L'U.R.S.S. a l'intention d'opérer une synchronisation en temps et fréquence avec le temps atomique international. Outre les réceptions de fréquences étalons, un transport d'horloge serait nécessaire.

Les liaisons entre le Comité International des Poids et Mesures et le B.I.H. doivent pouvoir être assurées de façon satisfaisante par l'intermédiaire du comité de direction du B.I.H. Il faudrait cependant que le C.I.P.M. ait dans ce comité un ou deux représentants, comme l'U.A.I. ou l'U.G.G.I., et non pas un observateur comme c'est le cas à présent. Les statuts de la F.A.G.S. ne sont pas explicites sur ce point, mais ils semblent le permettre. Ce problème pourra être évoqué lors de la prochaine réunion du Conseil de la F.A.G.S. (septembre 1970). Les représentants du C.I.P.M. pourraient être le directeur ou le sous-directeur du B.I.P.M. et un membre du C.I.P.M. Il importe que les relations du C.I.P.M. et du B.I.H. soient bien claires et qu'elles ne reposent pas seulement sur le bon vouloir des personnes.

La conduite à tenir à l'égard du C.C.I.R. et des Unions scientifiques qui se sont occupées du temps jusqu'à présent: U.A.I., U.R.S.I., fait l'objet d'une importante discussion. Selon Mr *Becker*, le C.I.P.M. devrait prendre complètement la charge des échelles de temps atomique, qu'elles soient pures ou coordonnées avec le TU par un système de compromis. Pour cela, il faudrait que le C.C.D.S. étende ouvertement sa compétence ou suggère au C.I.P.M. la formation d'un nouveau Comité Consultatif, et que les utilisateurs soient représentés dans l'un ou l'autre de ces Comités. On considère en effet, en Allemagne, qu'il est fâcheux que le C.C.I.R. définisse les échelles de temps en usage. Dans leur ensemble, les membres du C.C.D.S. pensent qu'il faut agir avec prudence et tenir compte des travaux entrepris par les Unions scientifiques. C'est cette prudence qui a conduit le C.I.P.M., lors de sa session de 1969, à conserver le nom de C.C.D.S. sans référence aux échelles de temps. Il faut plus particulièrement tenir compte de l'action du C.C.I.R. en cours; cette organisation bénéficie d'une bonne représentation des utilisateurs de temps et nous ne devons pas la gêner. Le temps atomique à sauts, dont le C.C.I.R. recommande l'emploi à partir de janvier 1972, ne doit donc pas être considéré par le C.C.D.S.

En résumé, la position suivante est adoptée. Pour une période intermédiaire, on laisse se poursuivre les actions en cours; la définition d'une

échelle de temps atomique international par le C.I.P.M. répond au désir de l'U.R.S.I. et du C.C.I.R. et peut servir de base à leurs travaux. Nous continuerons donc à travailler en collaboration avec les organismes internationaux concernés. Durant cette période, nous chercherons à clarifier les relations entre Unions.

Mr *Henderson* estime qu'en raison de son rôle important, le C.C.I.R. devrait avoir également un représentant (et non un observateur, comme c'est le cas actuellement) au sein du comité de direction du B.I.H.

Il est finalement convenu que les définitions et recommandations qui viennent d'être adoptées seront envoyées à l'U.A.I. afin qu'elles puissent être considérées lors de son Assemblée Générale d'août 1970; ce document, qui n'aura pas encore reçu l'approbation du C.I.P.M., sera présenté comme provisoire.

5. Questions soulevées par l'existence conjointe d'échelles astronomiques de temps

Ces questions sont essentiellement celles que pose le besoin de diffuser le TU. En conséquence de la position qui vient d'être prise (*voir 4*), le C.C.D.S. n'a pas à s'en occuper pour le moment.

6. Questions diverses

Mr *Winkler*, à la demande de Mr *Henderson*, expose la situation actuelle du système de prévention des collisions aériennes (CAS) fondé sur le synchronisme en temps et fréquence d'horloges embarquées. Les expériences ont montré que le CAS était très coûteux; il est apparu, d'autre part, difficile d'éviter que les pilotes d'avions reçoivent des ordres contradictoires de la part du CAS et des services de contrôle à terre. Il en résulte qu'il n'y a pas de programme pour le développement de ce système dans l'immédiat et qu'il est peu probable qu'il soit adopté dans le futur. D'autres systèmes n'exigeant pas le synchronisme d'horloges sont à l'étude.

Mr *Guinot* remercie les membres du C.C.D.S. pour leurs marques de confiance concernant les travaux du B.I.H. et pour la contribution permanente apportée par les directeurs de laboratoires.

* * *

Après avoir remercié les membres du Comité Consultatif pour leur travail, le Président clôt la session le 19 juin à 16 h 30 ⁽¹⁾.

(24 juin 1970)

⁽¹⁾ *Note du B.I.P.M.* — Les représentants des laboratoires japonais ont fait savoir, par lettre du 12 août 1970, leur accord général avec les vues exprimées par le C.C.D.S. En particulier, ils soulignent l'importance de la Recommandation S 3 et des règles pour la mise en pratique du Temps Atomique International, et ils approuvent les propositions d'aide financière au B.I.H.

**Recommandations ⁽²⁾
du Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde
présentées
au Comité International des Poids et Mesures**

Proposition d'adoption d'une échelle de Temps Atomique International

RECOMMANDATION S 1 (1970)

Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde,

CONSIDÉRANT

1° *Le désir général de synchroniser ou de coordonner l'ensemble des émissions de signaux horaires diffusés dans le monde ;*

2° *le besoin d'une référence de temps uniforme pour l'étude de la dynamique des systèmes et, en particulier, pour l'étude des mouvements des corps célestes naturels et artificiels ;*

3° *l'utilité d'une échelle de temps aussi uniforme que possible pour servir de base à la comparaison des étalons de fréquence opérant en des lieux et à des instants différents ;*

RECOMMANDE l'adoption d'une échelle de Temps Atomique International.

Proposition de définition du Temps Atomique International

RECOMMANDATION S 2 (1970)

Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde propose de définir le Temps Atomique International (TAI) comme suit :

« Le Temps Atomique International est la coordonnée de repérage temporel établie par le Bureau International de l'Heure sur la base des indications

(²) Les numéros initialement attribués à ces recommandations ont été changés après l'examen par les membres du C.C.D.S. du projet du rapport de la session :

— La Recommandation S 1 correspond à l'ancienne Recommandation S 1 amputée du considérant 4°; ce paragraphe est reporté en remarque finale de l'ensemble des Recommandations adoptées.

— La Recommandation S 2 est inchangée.

— La Recommandation S 3 correspond à l'ancienne Recommandation S 4.

— La Recommandation S 4 correspond à l'ancienne Recommandation S 5.

— Les règles pour la mise en pratique du Temps Atomique International correspondent à l'ancienne Recommandation S 3.

Ces Recommandations ont été approuvées par le Comité International des Poids et Mesures à sa 59^e session (octobre 1970).

d'horloges atomiques fonctionnant dans divers établissements conformément à la définition de la seconde, unité de temps du Système International d'Unités ».

Poursuite des recherches sur les étalons atomiques de fréquence et sur les méthodes d'évaluation du Temps Atomique International

RECOMMANDATION S 3 (1970)

Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde,

CONSIDÉRANT que le nombre des étalons primaires de fréquence et leur exactitude sont à peine suffisants pour contrôler le maintien d'une durée constante de l'intervalle unitaire de l'échelle de Temps Atomique International,

RECOMMANDE aux organismes compétents d'entreprendre ou de poursuivre activement les recherches en vue d'une réalisation plus exacte de la seconde du Système International d'Unités.

RECOMMANDATION S 4 (1970)

Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde,

CONSIDÉRANT que l'expérience acquise n'est pas suffisante pour que l'on puisse dès maintenant fixer les règles de pondération des indications des horloges atomiques contribuant à l'établissement de l'échelle de Temps Atomique International,

RECOMMANDE que cette question soit étudiée activement.

MISE EN PRATIQUE DU TEMPS ATOMIQUE INTERNATIONAL

Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde propose les règles suivantes pour la mise en pratique de l'échelle de Temps Atomique International pendant les quelques années à venir :

1° La durée de l'intervalle unitaire de l'échelle de Temps Atomique International est déterminée par le Bureau International de l'Heure (B.I.H.) de façon qu'elle soit en accord étroit avec la durée de la seconde du Système International d'Unités rapportée à un point fixe de la Terre au niveau de la mer.

2° La durée de l'intervalle unitaire de l'échelle de Temps Atomique International est maintenue aussi constante que possible. Elle est fréquemment comparée à la durée de la seconde du Système International d'Unités telle qu'elle est obtenue à l'aide des étalons primaires de fréquence de divers établissements. Les résultats de ces comparaisons sont portés à la connaissance du B.I.H.

3° La durée de l'intervalle unitaire de l'échelle de Temps Atomique International n'est changée intentionnellement que si elle diffère d'une façon significative de la durée de la seconde spécifiée en 1°. Ces ajustements n'auront lieu qu'à des dates convenues à l'avance et annoncées par le B.I.H.

4° L'origine de l'échelle de Temps Atomique International est définie conformément aux recommandations de l'Union Astronomique Internationale

(XIII^e Assemblée Générale, Prague, 1967), c'est-à-dire que cette échelle s'accorde approximativement avec le TU2 à 0 heure le 1^{er} janvier 1958.

5^o Le procédé par lequel le Temps Atomique International est actuellement porté à la connaissance des usagers, c'est-à-dire par la publication mensuelle des écarts des échelles locales, est considéré comme satisfaisant.

Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde note que les Recommandations et propositions ci-dessus vont dans le sens des demandes approuvées par le Comité Consultatif International des Radiocommunications (C.C.I.R.) à sa 12^e Assemblée Plénière (New Delhi, 1970) et par l'Union Radioscientifique Internationale (U.R.S.I.) à sa 16^e Assemblée Générale (Ottawa, 1969, Résolution 1.4).

QUATRIÈME RAPPORT

DU

COMITÉ CONSULTATIF POUR LA DÉFINITION DU MÈTRE

AU

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (C.C.D.M.) a tenu sa quatrième session au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les lundi 14, mardi 15 et mercredi 16 septembre 1970 (*).

Étaient présents : J. M. OTERO, président.

Les délégués des laboratoires membres :

Conseil National de Recherches [N.R.C.], Ottawa (K. M. BAIRD).
Joint Institute for Laboratory Astrophysics [J.I.L.A.], Boulder
(J. L. HALL).

National Bureau of Standards [N.B.S.], Washington (K. G. KESSLER,
J. A. SIMPSON).

National Physical Laboratory [N.P.L.], Teddington (W. R. C.
ROWLEY).

National Research Laboratory of Metrology [N.R.L.M.], Tokyo
(Y. SAKURAI).

National Standards Laboratory [N.S.L.], Chippendale (C. F.
BRUCE).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [P.T.B.], Braunschweig
(E. ENGELHARD).

L'un des membres nominativement désignés :

Le directeur du Bureau International (J. TERRIEN).

(*) Les Annexes M mentionnées dans ce rapport sont publiées dans *Comité Consultatif pour la Définition du Mètre*, 4^e session, 1970.

Assistaient également aux séances : A. MARÉCHAL, membre du Comité International; P. GIACOMO, sous-directeur du Bureau International, P. CARRÉ, G. LECLERC, A. SAKUMA, J. HAMON et J.-M. CHARTIER (Bureau International).

Excusés : B. EDLÉN (Lund), L. FRENKEL (Cambridge, U.S.A.), K. SHIMODA (Tokyo), Y. VÄISÄLÄ (Turku), membres nominativement désignés; Institut de Métrologie Tchécoslovaque (Bratislava), invité.

Absents : Deutsches Amt für Messwesen und Warenprüfung, Berlin; Institut de Métrologie D.I. Mendéléev, Leningrad.

Les divers points de l'ordre du jour proposé avaient fait l'objet d'un questionnaire préalable envoyé à tous les membres du C.C.D.M. Les réponses à ce questionnaire, qui avaient également été distribuées à tous les membres, ont permis de consacrer la majeure partie du temps aux discussions ⁽¹⁾.

Le Président ouvre la session en souhaitant la bienvenue aux participants.

Mr Baird (assisté de Mr Hamon comme secrétaire) est nommé rapporteur.

Mr Terrien fait part de deux propositions d'adjonctions au projet d'ordre du jour : l'une (N.R.C.) concernant le rôle éventuel du C.C.D.M. pour la mesure de la vitesse de la lumière, l'autre (P.T.B., N.B.S.) concernant les limites de l'exactitude des mesures de longueur.

Après une brève discussion, ces deux questions sont ajoutées respectivement aux points 9 et 6. L'examen des différents points de l'ordre du jour est ensuite abordé.

1. Travaux sur la radiation du krypton 86 de la définition du mètre

Tous les laboratoires qui ont répondu au questionnaire utilisent des lampes à krypton 86 dans les conditions recommandées pour reproduire la radiation étalon.

La *dissymétrie* du profil spectral de la radiation étalon a été confirmée par plusieurs laboratoires (N.P.L., N.R.C., N.S.L.) ou est en cours d'étude (Kessler). Cette dissymétrie, dont aucune interprétation satisfaisante n'a encore pu être donnée, contribue à la limitation de l'exactitude des mesures de longueur à quelques 10^{-9} . La quantité de krypton 84 présente dans les lampes étudiées est insuffisante pour expliquer la dissymétrie

⁽¹⁾ On trouvera à l'Annexe M 2 le détail des réponses à ce questionnaire, regroupées point par point; plusieurs documents joints aux réponses font l'objet des Annexes M 3 à M 14. Le présent rapport résume les grandes lignes de ces Annexes. Les noms des laboratoires cités entre parenthèses renvoient à l'Annexe M 2.

(Engelhard); il faudrait que l'émission de cet isotope soit avatagée, par exemple par cataphorèse, pour expliquer la dissymétrie que l'on observe encore avec du krypton 86 à 99,97 % de pureté (Baird). Des effets asymétriques dus aux collisions ont été signalés dans d'autres cas (déplacement du « Lamb-dip » par rapport au profil Doppler: Sixth International Conference on Quantum Electronics, Kyoto, septembre 1970); des phénomènes analogues pourraient intervenir dans les lampes à krypton (Hall).

Aucune *variation de la longueur d'onde* émise en fonction de la pureté de l'isotope utilisé n'a été observée pour les lampes remplies avec du krypton 86 à plus de 99 % (Baird, Engelhard).

L'étude des variations de la longueur d'onde émise en fonction de la pression et de la densité de courant a été reprise et étendue. Selon cette étude, il semble que la longueur d'onde extrapolée pour l'atome non perturbé diffère d'environ 1×10^{-8} de la longueur d'onde obtenue dans les conditions recommandées (Engelhard; Annexe M 2, *fig. 1 a* et *b*). Aux basses pressions les chocs des atomes sur les parois deviennent prépondérants; les valeurs obtenues pour la longueur d'onde dans de telles conditions ne doivent être utilisées qu'avec prudence pour l'extrapolation à pression nulle (Baird).

La longueur d'onde de la radiation émise en différentes régions du capillaire a également été étudiée (P.T.B.); des différences de 5×10^{-9} ont été observées. Un nouveau type de lampe à capillaire plus gros et plus court est présenté (Engelhard); le gradient de pression y est plus faible, le choix d'une région déterminée de la décharge est facilité.

En conclusion, toutes les études évoquées confirment qu'une lampe à krypton 86, utilisée dans les conditions recommandées, reproduit l'unité de longueur avec une exactitude de 1×10^{-8} . Des complications apparaissent lorsqu'on veut atteindre 1×10^{-9} ; les études correspondantes étant longues et difficiles, il serait souhaitable de fixer un ordre de priorité.

Le Comité Consultatif adopte en conséquence la *Recommandation* M 1 (1970) (p. 123).

2. Rapports des instituts métrologiques nationaux sur la mise en application de la définition du mètre adoptée en 1960

La plupart des laboratoires nationaux utilisaient déjà les mesures interférentielles avant 1960. Le changement de la définition du mètre n'a donc posé aucun problème essentiellement nouveau.

Les mesures directes d'étalons à traits ou à bouts plans, jusqu'à 500 mm ou même 1 m de longueur, à l'aide des interférences de la radiation étalon sont couramment pratiquées.

On utilise en outre (*voir* aussi points 3, 4, 5, 6) :

- la multiplication optique, pour les grandes longueurs;
- les radiations étalons secondaires du krypton 86, du cadmium 114

et du mercure 198, pour appliquer la méthode des coïncidences, ou pour les mesures d'une précision inférieure à 1×10^{-7} ; en raison de la largeur spectrale de ces radiations, leur emploi est toutefois limité aux mesures des longueurs inférieures à 500 mm environ;

— enfin et surtout les lasers à gaz, stabilisés ou non suivant la précision recherchée, pour les mesures où la rapidité est essentielle (étalonnage de règles divisées par comptage de franges) et pour les grandes longueurs.

Les longueurs d'onde des radiations laser sont mesurées par comparaison à la radiation étalon.

Il est nécessaire de déterminer sur place au cours des mesures l'indice de réfraction de l'air qui peut, en atmosphère confinée, être supérieur de quelques 10^{-8} à l'indice de réfraction calculé (Engelhard, Terrien).

**3. Travaux sur les radiations étalons secondaires
de longueur d'onde recommandées par le C.I.P.M. en 1963;
travaux sur d'autres radiations analogues susceptibles d'être recommandées
par le C.I.P.M.**

Le défaut de symétrie du profil spectral de plusieurs radiations étalons secondaires du mercure 198 (N.P.L.) et du krypton 86 (N.P.L., B.I.P.M.) a été étudié; les résultats sont concordants. La dissymétrie semble liée à l'effet de déplacement par la pression (Engelhard).

Les longueurs d'onde de quelques radiations étalons secondaires du krypton 86 pourraient être légèrement corrigées, par exemple de -3×10^{-8} pour $\lambda = 645$ nm (Terrien); les lampes à krypton 86 excitées en haute fréquence ont été étudiées par divers laboratoires (N.P.L., N.R.C., N.S.L., P.T.B.).

Plusieurs radiations du krypton 86 et une du mercure 198 ont été suggérées comme nouveaux étalons secondaires (N.R.L.M., B.I.P.M.). Le Comité Consultatif n'estime toutefois pas nécessaire de faire une proposition formelle dans ce sens et il adopte la conclusion suivante :

« Le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre a pris connaissance des travaux effectués sur les étalons secondaires de longueur d'onde.

Il reconnaît l'utilité des études poursuivies, notamment au N.R.L.M. sur la radiation $2p_{10}-5d_6$ du krypton 86 et au B.I.P.M. sur neuf radiations infrarouges du krypton 86. »

4. Lasers utilisés en métrologie

(à l'exclusion des lasers asservis par absorption saturée, voir point 5)

Il s'agit principalement de lasers à gaz hélium-néon ($\lambda = 633$ nm).

La longueur d'onde émise peut être rendue très stable en soignant particulièrement la stabilité mécanique et thermique de la cavité (N.R.C., N.S.L.); on utilise plus couramment l'asservissement soit sur le maximum

d'émission, soit sur le « Lamb-dip ». Ces lasers rendent de grands services, mais leur longueur d'onde peut varier en fonction des pressions partielles des gaz de remplissage ou par vieillissement (P.T.B., N.B.S., N.P.L., B.I.P.M.; Annexe M 13); elle doit être étalonnée de temps en temps si l'on veut dépasser la précision de 1×10^{-7} . A cet égard, les lasers asservis sur une cavité ou sur une absorption auxiliaires (N.R.L.M.; Annexes M 4 et M 5) présentent plus de garanties; avec un laser He-Ne ($\lambda = 3,39 \mu\text{m}$) asservi sur une raie d'absorption du méthane, dans une cuve extérieure au laser, on a observé une stabilité de 8×10^{-11} sur une heure (Annexe M 5). On doit également veiller à la pureté spectrale de la radiation émise et à l'absence de couplage optique parasite ou de causes diverses d'entraînement de fréquence qui peuvent produire des défauts de stabilité à court terme (N.P.L.; Annexe M 12).

Le laser à xénon 136 ionisé, qui émet simultanément trois radiations visibles ($\lambda = 627, 542$ et 460 nm), se prête bien à l'utilisation de la méthode des coïncidences (P.T.B.); on espère stabiliser ce type de laser à mieux que 1×10^{-8} (Engelhard).

Le laser à CO_2 peut aussi émettre plusieurs radiations au voisinage de $\lambda = 10 \mu\text{m}$; son utilisation pour la mesure des grandes longueurs est en cours d'étude (Baird).

On peut également appliquer la méthode des coïncidences à partir d'un laser monomode: par modulation en amplitude, on fait apparaître des bandes latérales avec un écart de fréquence bien connu (Kessler; Annexe M 9).

En conclusion,

« Le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre a noté que les études de divers laboratoires, en particulier du N.B.S., du N.P.L. et de la P.T.B., portant sur des lasers He-Ne ($\lambda = 6\,328 \times 10^{-10} \text{ m}$), ont fait apparaître des divergences pouvant atteindre $10^{-7} \lambda$ entre divers lasers commerciaux ainsi que des variations du même ordre pour un même laser.

Il attire l'attention des laboratoires qui utilisent de tels appareils comme étalons secondaires de longueur sur la nécessité de les étalonner et de suivre leur évolution. »

5. Radiations de très faible largeur spectrale obtenues par absorption saturée; facteurs qui conditionnent la stabilité de leur longueur d'onde

L'absorption saturée du méthane permet d'asservir la longueur d'onde d'un laser à gaz He-Ne émettant dans l'infrarouge ($\lambda = 3,39 \mu\text{m}$) avec une incertitude qui ne doit pas dépasser 1×10^{-11} . La stabilité dépasse largement la reproductibilité; elle est meilleure que 1×10^{-13} sur des durées comprises entre quelques secondes et quelques milliers de secondes.

Ces résultats sont déduits de l'observation des battements entre plusieurs lasers asservis (N.B.S.; Annexe M 14).

La largeur de la raie d'absorption, de l'ordre de 1×10^{-9} , est essentiellement limitée par la longueur d'interaction du rayonnement avec les molécules; le déplacement par effet de pression est inférieur à 10 kHz entre $2,5 \times 10^{-3}$ et $6,5 \text{ N/m}^2$ (0,02 et $50 \mu\text{mHg}$) (N.B.S.) et l'effet Stark est négligeable (Annexe M 3, références 1 et 2).

L'asservissement exact du laser sur la raie d'absorption exige une excellente élimination du couplage avec l'optique; un bon moyen d'y parvenir consiste à utiliser deux lasers: le premier, asservi sur la raie d'absorption saturée, sert de « pilote »; le second, asservi sur le premier laser avec un décalage de fréquence connu, peut être utilisé comme laser de travail (Hall; Annexe M 11).

L'asservissement d'un laser He-Ne ($\lambda = 633 \text{ nm}$) sur une raie d'absorption saturée de l'iode fait l'objet d'études analogues; d'autres raies d'absorption saturée permettront vraisemblablement d'asservir le laser à CO_2 ($\lambda \approx 10 \mu\text{m}$).

Ces dispositifs sont en cours d'étude dans plusieurs laboratoires (N.B.S., N.P.L., N.R.C.); il serait prématuré de discuter de leurs mérites respectifs. L'iode permet d'utiliser une radiation visible, ce qui est plus commode, mais le rapport signal/bruit est meilleur avec le méthane (Simpson).

Jusqu'ici, les mesures sur ce type de lasers asservis ont principalement porté sur des lasers de construction similaire, comparés entre eux par battements dans le laboratoire qui les avait construits. D'autres mesures sont nécessaires: mesures de longueurs d'onde rapportées à l'étalon de longueur, comparaisons de longueurs d'onde entre lasers différents, comparaison des résultats obtenus dans divers laboratoires. La cohérence des résultats peut seule donner une évaluation des mérites des procédés d'asservissement et des méthodes de mesure employés (Kessler, Baird). A titre d'exemple, la longueur d'onde d'un même laser asservi sur une raie d'absorption saturée du méthane ($\lambda = 3,39 \mu\text{m}$) a été mesurée au J.I.L.A. et au B.I.P.M.; les résultats (provisoire) diffèrent entre eux de 1×10^{-7} environ. La dispersion des résultats de chaque laboratoire n'excédant pas quelques 10^{-9} , cette différence de 1×10^{-7} ne peut être due qu'à une erreur systématique dont l'origine doit être recherchée (Giacomo, Hamon) ⁽²⁾.

Le but à atteindre étant la métrologie des longueurs, il faut aussi vérifier que les problèmes propres à l'utilisation de ce nouveau type de sources ne rendent pas illusoire le gain de précision qu'on pourrait en attendre (Engelhard). Ce gain de précision correspond dès maintenant à un besoin réel puisque la précision des mesures de g au Bureau Inter-

⁽²⁾ De nouvelles mesures au J.I.L.A. ont permis d'attribuer l'origine de cette différence à l'évaluation de certains termes correctifs; les résultats concordent maintenant à 1×10^{-8} (Lettre de R. L. Barger (J.I.L.A.) du 10 mars 1971).

national est actuellement limitée à 2 ou 3×10^{-9} par les mesures de longueur (Terrien).

Il y a là un champ d'investigation très prometteur pour l'avenir des mesures de longueur; il convient donc de l'explorer à fond et de développer les échanges et les comparaisons entre laboratoires.

Le Comité Consultatif approuve finalement la conclusion suivante :

« Le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre ayant examiné les progrès des lasers pour la métrologie, souhaite que les laboratoires étudient les applications de ces lasers pour la mesure des longueurs en tenant compte d'une part des possibilités nouvelles offertes par ces appareils, et d'autre part des précautions qui s'imposent lorsqu'ils sont utilisés avec des techniques mises au point pour d'autres types de sources lumineuses ».

Cette conclusion est en outre complétée par l'adoption de la *Recommandation M 2* (1970), p. 123.

6. Méthodes et appareils

6 a) Étude des qualités métrologiques des étalons de longueur d'onde

La méthode des battements permet des comparaisons extrêmement précises de fréquence (donc de longueur d'onde) entre lasers; toutefois, si les lasers n'ont pas des fréquences très voisines, il devient nécessaire de comparer la fréquence de battement avec la fréquence d'une autre source cohérente (klystron, laser, etc.) dans un montage hétérodyne, pour ramener la fréquence à analyser dans le domaine des radiofréquences.

Pour les comparaisons de longueurs d'onde et l'étude des profils spectraux, plusieurs types d'interféromètres sont couramment utilisés :

- Perot-Fabry à miroirs plans (N.P.L., N.R.C., N.S.L., P.T.B.);
- Perot-Fabry à miroirs sphériques (N.S.L.);
- Perot-Fabry à miroir plan et miroir sphérique (Annexe M 11);
- Michelson à miroirs plans (N.R.C., B.I.P.M.);
- interféromètre à prisme de Kösters (P.T.B.);
- interféromètre à « ruban de Möbius » (N.R.L.M.).

6 b) Mesure des étalons à bouts, des étalons à traits et des déplacements

Pour la mesure des *étalons à bouts plans*, la méthode interférentielle statique (mesure de la partie fractionnaire des ordres d'interférence avec plusieurs radiations et recherche des coïncidences) reste la plus utilisée, avec des interféromètres de types divers: Fizeau (N.P.L., N.R.C., B.I.P.M.), Michelson (N.R.C., N.R.L.M., B.I.P.M.), Kösters (N.P.L., N.S.L., P.T.B.).

La radiation étalon du krypton 86 et les radiations étalons secondaires permettent des mesures directes de calibres jusqu'à 250 mm ou 500 mm. Pour les longueurs supérieures, les mesures s'effectuent le plus souvent de proche en proche : soit par multiplication optique, soit par mesure de différences entre calibres.

Les mesures directes de calibres jusqu'à 1 m sont possibles avec la radiation étalon en déterminant la partie entière des ordres d'interférence par comptage de franges (*voir* ci-dessous).

Pour les *étalons à traits*, les mesures s'effectuent par déplacement de l'étalon sous un microscope, généralement photoélectrique, qui pointe les traits successivement. L'étalon est solidaire de l'un des miroirs d'un interféromètre de Michelson; la distance entre deux traits est déduite de la variation de l'ordre d'interférence que l'on peut elle-même déduire de mesures interférentielles statiques, comme pour les étalons à bouts plans.

Pour la mesure du déplacement de l'étalon on utilise maintenant de plus en plus le comptage des franges d'interférence d'une radiation laser (N.B.S., N.P.L., N.R.C., N.R.L.M., P.T.B., B.I.P.M.), parfois avec enregistrement automatique des résultats (N.P.L., N.R.L.M.). La même méthode est appliquée à la mesure des calibres en remplaçant le microscope photoélectrique par un palpeur électro-mécanique (N.P.L.) ou par l'observation du contact optique (B.I.P.M.).

L'indice de réfraction de l'air est le plus souvent déterminé sur place au cours des mesures (N.S.L., N.P.L., N.R.C., P.T.B., N.R.L.M., B.I.P.M.).

La *précision* et l'*exactitude* des mesures sont limitées par les qualités des appareils utilisés et les caractéristiques des étalons à mesurer (Annexe M 7).

La reproductibilité des pointés des traits dépend essentiellement de la qualité et de la conservation du tracé (Bruce, Terrien). On peut espérer une amélioration sur ce point avec les nouveaux procédés de fabrication des étalons à traits, par exemple par dépôt de couches métalliques réfléchissantes sur verre (Bruce, Kessler, Simpson), ou en utilisant des lignes de foi virtuelles (Carré). Une normalisation pourrait être envisagée (Otero, Simpson).

La limite actuelle de la précision du pointé des traits à l'aide de microscopes photoélectriques est de l'ordre de 10 nm; elle peut être améliorée avec les meilleurs tracés (Carré).

On a vérifié que le retournement des règles élimine bien les erreurs liées aux conditions d'éclairage des traits (Baird) et que l'effet des déformations du comparateur dues aux déplacements du chariot porte-règle est négligeable, tout au moins sur les comparateurs du N.R.C. (Baird) et du B.I.P.M. (Carré).

La *stabilité* des étalons en matériaux nouveaux à faible coefficient de dilatation (« Cer-Vit », « ULE Quartz », « Zerodur »), est étudiée dans plusieurs laboratoires (Annexe M 15); elle est meilleure que 1×10^{-6} par an, mais la durée d'expérimentation (deux ans) est encore insuffisante pour en tirer une conclusion (Bruce, Hall, Simpson). Un étalon en silice fondue de 80 cm de longueur, utilisé à poste fixe au B.I.P.M. pour la mesure de g , maintenu sous vide et à température constante, n'a pas évolué de plus de 1×10^{-9} en trois ans (Sakuma).

Ce dernier exemple illustre bien l'intérêt qu'il y aurait à atteindre une exactitude supérieure à 1×10^{-9} (Terrien). C'est toutefois un cas très particulier. La longueur d'étalons matériels n'est qu'exceptionnellement définie et mesurable avec une incertitude inférieure à 10 nm (Engelhard, Sakurai, Carré). Certains utilisateurs demandent mieux (Simpson) mais cela semble peu réaliste (Engelhard, Rowley).

L'étude statistique des résultats d'expériences nombreuses, effectuées autant que possible dans plusieurs laboratoires, est essentielle pour évaluer l'exactitude des mesures. Les calculs nécessaires peuvent aisément être effectués à l'aide d'ordinateurs. Il est donc très important d'organiser les mesures en fonction de cette exploitation statistique, et en particulier d'augmenter le nombre des mesures en les rendant automatiques (Simpson).

7. Mesures comparatives internationales de longueur

Bien que les mesures interférentielles directes, en particulier celles qui utilisent les lasers, soient préférables pour le travail de laboratoire, surtout pour les grandes longueurs, les étalons matériels à traits et à bouts conservent une grande importance pratique (Baird, Simpson).

Des comparaisons internationales organisées par le B.I.P.M. permettraient d'étudier les qualités des étalons eux-mêmes, de comparer les mérites des méthodes et des appareils de mesure et de déceler les erreurs systématiques (Otero, Baird, Kessler, Simpson; Annexe M 7).

Ces comparaisons doivent porter sur des étalons de type courant permettant d'éprouver les méthodes de mesure usuelles (Baird, Rowley); on devra choisir des étalons de la meilleure qualité (Baird) ou représentatifs de cas typiques (Kessler).

Les mesures comparatives peuvent porter sur des étalons à bouts plans (Engelhard), mais ils se prêtent difficilement à l'automatisation des mesures (Simpson); par ailleurs, les défauts de planéité et de parallélisme des faces, la nécessité de les mettre en adhérence sur un plan et de tenir compte des pertes de phase à la réflexion posent quelques problèmes. Le cas des étalons à traits soulève moins d'objections. Avec la qualité actuelle des tracés, l'influence des conditions d'observation des traits devrait être faible et les comparaisons permettraient justement de l'étudier (Kessler). Certains tracés sur support transparent sont excellents, mais les meilleures règles de ce type ont une section rectangulaire de dimensions inusitées (Simpson); il n'est pas sûr que les comparateurs de certains laboratoires intéressés puissent être adaptés à la mesure de ces règles.

La circulation d'un jeu de calibres à bouts plans (jusqu'à 10 cm) fourni par le N.B.S. est proposée (Simpson); des longueurs plus grandes paraissent préférables (Baird, Engelhard). La circulation de micromètres-objets de 1 mm (N.P.L.), de règles et calibres de 1 m (N.P.L., N.R.L.M., B.I.P.M.) et de rubans géodésiques jusqu'à 50 m (N.P.L.) a été suggérée.

Le N.B.S. propose par ailleurs de fournir des schémas d'organisation des mesures et d'analyse des résultats (Simpson).

Quelques réserves sont faites sur l'utilité de telles comparaisons, compte tenu du travail considérable qu'elles demandent et des risques auxquels sont exposés les étalons au cours des transports répétés (Engelhard).

Tous les laboratoires représentés à cette session désirent néanmoins participer aux comparaisons envisagées.

En conclusion, le Comité Consultatif adopte la *Recommandation* M 3 (1970), p. 124.

8. Échanges de vues sur l'éventualité d'un changement de la définition de l'unité de longueur, faisant intervenir par exemple les lasers ou la vitesse de la lumière

Les réponses au questionnaire (Annexes M 2, M 3, M 6), dont les grandes lignes sont résumées ci-dessous, montrent une grande concordance de vues sur ce point.

Une radiation émise par un laser asservi sur une raie d'absorption saturée sera tôt ou tard utilisée comme étalon de longueur. Le choix d'une telle radiation pour établir une nouvelle définition du mètre serait toutefois prématuré: il devrait conduire à la meilleure exactitude des mesures de longueur et, dans ce domaine précis, les résultats expérimentaux sont encore trop peu nombreux pour guider un choix et justifier un changement de définition de l'unité de longueur.

La même remarque s'applique à une éventuelle utilisation de la vitesse de la lumière pour définir l'unité de longueur. Les expériences en cours ou en projet (Annexes M 8, M 9, M 10) constituent un excellent banc d'essai pour les lasers asservis, considérés comme étalons de longueur ou de fréquence. Aucune de ces expériences ne permet encore d'affirmer que, dans un avenir proche, on pourra déduire les mesures de longueur les plus précises de mesures de temps (ou de fréquence) et de la valeur attribuée à la vitesse de la lumière.

En conclusion, le Comité Consultatif adopte la *Recommandation* M 4 (1970), p. 124).

9. Questions diverses

Des modèles de lampes à krypton 86, à cadmium 114 et à mercure 198 ont été présentés au cours de la réunion (Engelhard); ces modèles devraient être commercialisés. Dans le cas contraire, la P.T.B. envisage dans un proche avenir d'en fournir aux laboratoires qui en désireraient.

*
* *

L'ordre du jour étant épuisé, le Président clôt la session en remerciant tous les participants de leur concours.

(Mars 1971)

Recommandations
du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre
présentées
au Comité International des Poids et Mesures (*)

Poursuite des études sur la radiation étalon primaire et sur les lasers stabilisés

RECOMMANDATION M 1 (1970)

Le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre,

CONSIDÉRANT que les prescriptions énoncées dans la Recommandation du Comité International des Poids et Mesures (1960) pour la mise en pratique de la définition du mètre assurent bien l'exactitude de 10^{-8} ,

que l'amélioration de cette exactitude exigera encore un travail considérable, notamment pour étudier la dissymétrie du profil spectral de cette radiation et pour déterminer les corrections par rapport à la radiation qui serait émise par des atomes non perturbés,

RECOMMANDE que les laboratoires qui en ont la possibilité poursuivent ou entreprennent de telles études.

RECOMMANDATION M 2 (1970)

Le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre,

RECOMMANDE vivement aux laboratoires d'entreprendre ou de poursuivre l'étude des lasers stabilisés et d'étudier leurs qualités en tant qu'étalons pour la mesure des longueurs ;

RECOMMANDE de mesurer la longueur d'onde des radiations ainsi produites par comparaison à l'étalon primaire ;

CONSIDÉRANT que les comparaisons de longueurs d'onde peuvent être plus précises lorsque l'on compare deux lasers,

RECOMMANDE pour le moment l'emploi des deux dispositifs les mieux étudiés jusqu'à présent, c'est-à-dire ceux qui utilisent l'absorption saturée par le méthane ou par l'iode ;

RECOMMANDE que le Bureau International des Poids et Mesures veille à maintenir les relations mutuelles entre les membres du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre et qu'une fois atteinte la concordance entre les résultats de divers laboratoires, des valeurs des longueurs d'onde de ces lasers soient adoptées à titre provisoire.

(*) Ces quatre Recommandations ont été approuvées par le Comité International à sa 59^e session (octobre 1970).

Comparaisons internationales d'étalons matériels de longueur

RECOMMANDATION M 3 (1970)

Le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre,

CONSIDÉRANT qu'il est nécessaire d'éprouver les appareils et les méthodes tels qu'ils sont employés dans les divers laboratoires pour les étalonnages courants, en vue d'évaluer avec certitude l'exactitude atteinte,

RECOMMANDE que soient organisées des comparaisons internationales d'étalons matériels de longueur.

Mesure des fréquences optiques, de la vitesse de la lumière, et définition du mètre

RECOMMANDATION M 4 (1970)

Le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre,

CONSIDÉRANT le développement rapide des lasers stabilisés et la possibilité de mesure directe de fréquences optiques, ce qui pourra conduire de deux façons différentes à une définition du mètre meilleure que la définition actuelle,

DÉCLARE toutefois que le moment n'est pas encore venu de définir les étapes de ce changement de définition;

RECOMMANDE, en raison de l'utilisation possible de la vitesse de la lumière pour une future définition du mètre, que les laboratoires envisagent d'effectuer non seulement des recherches sur la stabilisation des lasers mais aussi des mesures de la vitesse de la lumière;

NOTE que ces recherches intéressent aussi le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde.

ANNEXE 1

ACCORD entre le Gouvernement de la République Française et le Comité International des Poids et Mesures (1)

Décret N° 70-820 du 9 septembre 1970 portant publication de l'accord entre le Gouvernement de la République française et le Comité International des Poids et Mesures, relatif au siège du Bureau International des Poids et Mesures et à ses privilèges et immunités sur le territoire français, du 25 avril 1969 (2).

Le Président de la République,

Sur le rapport du Premier ministre et du ministre des Affaires Étrangères,

Vu les articles 52 à 55 de la Constitution;

Vu la loi N° 70-469 du 5 juin 1970 autorisant l'approbation de l'accord entre le Gouvernement de la République française et le Comité International des Poids et Mesures, relatif au siège du Bureau International des Poids et Mesures et à ses privilèges et immunités sur le territoire français, du 25 avril 1969;

Vu le décret N° 53-192 du 14 mars 1953 relatif à la ratification et à la publication des engagements internationaux souscrits par la France,

Décète :

Art. 1^{er}. — L'accord entre le Gouvernement de la République française et le Comité International des Poids et Mesures, relatif au siège du Bureau International des Poids et Mesures et à ses privilèges et immunités sur le territoire français, du 25 avril 1969, dont les notifications d'approbation ont été échangées le 24 juin 1970, sera publié au *Journal Officiel* de la République française.

(1) *Journal Officiel de la République Française* (Lois et Décrets), 18 septembre 1970, pp. 8719-8721.

(2) Les formalités prévues par l'article 16 ayant été accomplies le 24 juin 1970, cet accord est entré en vigueur le 24 juillet 1970.

Art. 2. — Le Premier ministre et le ministre des Affaires Étrangères sont chargés de l'application du présent décret.

Fait à Paris, le 9 septembre 1970.

Georges POMPIDOU

Par le Président de la République :

Le Premier ministre,
Jacques CHABAN-DELMAS

Le ministre des Affaires Étrangères,
Maurice SCHUMANN

*Accord entre le Gouvernement de la République française
et le Comité International des Poids et Mesures*

Le Gouvernement de la République française et le Comité International des Poids et Mesures,

Considérant que le siège permanent du Bureau International des Poids et Mesures est établi à Paris;

Désireux de régler par le présent accord les questions relatives à l'établissement à Paris du siège permanent du Bureau International des Poids et Mesures et de définir, en conséquence, les privilèges et immunités du Bureau en France,
sont convenus de ce qui suit :

Article 1^{er}

Le Gouvernement de la République française reconnaît la personnalité civile du Bureau International des Poids et Mesures ci-après appelé le Bureau et sa capacité de contracter, d'acquérir et d'aliéner les biens mobiliers et immobiliers nécessaires à son activité, et d'ester en justice.

Article 2

Le siège du Bureau comprend les terrains concédés à celui-ci par la République française dans l'enceinte du domaine national de Saint-Cloud, ainsi que les bâtiments construits ou qui viendraient à être construits sur lesdits terrains.

Article 3

1. Le siège du Bureau est inviolable. Les agents ou fonctionnaires de la République française ne pourront y pénétrer pour exercer leurs fonctions officielles qu'avec le consentement ou sur la demande du directeur du Bureau ou de son délégué.

2. Le Bureau ne permettra pas que son siège serve de refuge à une personne poursuivie à la suite d'un crime ou d'un délit flagrant ou objet d'un mandat de justice, d'une condamnation pénale ou d'un arrêté d'expulsion émanés des autorités compétentes françaises.

Article 4

Les biens et avoirs du Bureau sont exempts de saisie, confiscation, réquisition et expropriation ou de tout autre forme de contrainte administrative ou judiciaire.

Article 5

1. Sans être astreint à aucun contrôle, réglementation ou moratoire financier, le Bureau peut :

- a) Recevoir et détenir des fonds et des devises de toute nature et avoir des comptes dans n'importe quelle monnaie et n'importe quel pays;
- b) Transférer librement ses fonds et ses devises à l'intérieur du territoire français, ou de France dans un autre pays, et inversement.

2. Dans l'exercice des droits qui lui sont accordés en vertu du présent article, le Bureau tiendra compte de toutes représentations qui seraient faites auprès de lui par le Gouvernement de la République française.

Article 6

Le Bureau, ses avoirs, revenus et autres biens sont exonérés de tous impôts directs. L'exonération ne porte pas toutefois sur les taxes perçues en rémunération de services rendus.

Article 7

1. Les acquisitions et locations d'immeubles réalisées par le Bureau pour son fonctionnement administratif sont exonérées de droits d'enregistrement et de taxe de publicité foncière.

2. Les contrats d'assurances souscrits par le Bureau dans le cadre de ses activités officielles sont dispensés de la taxe spéciale sur les conventions d'assurances.

Article 8

Le Bureau supporte, dans les conditions de droit commun, l'incidence des taxes indirectes qui entrent dans le prix des marchandises vendues ou des services rendus.

Toutefois, les taxes sur le chiffre d'affaires perçues au profit du budget de l'État qui seront afférentes aux achats d'une certaine importance effectués par le Bureau pour ses besoins officiels, ainsi qu'à l'édition des publications correspondant à la mission du Bureau feront l'objet d'un remboursement dans des conditions à fixer d'un commun accord entre le Bureau et les autorités françaises compétentes.

Article 9

Le mobilier, les fournitures et les matériels importés ou exportés par le Bureau et qui sont strictement nécessaires aux besoins de son fonctionnement administratif et scientifique, ainsi que les publications correspondant à sa mission, sont exonérés du paiement des droits de douane et des taxes sur le chiffre d'affaires.

Les articles entrant dans les catégories de marchandises désignées à l'alinéa qui précède sont également dispensés à l'importation et à l'exportation de toutes mesures de prohibition ou de restriction.

Les marchandises importées au bénéfice de ces facilités ne pourront éventuellement faire l'objet sur le territoire français d'une cession ou d'un prêt à titre gratuit ou onéreux que dans des conditions préalablement agréées par les autorités françaises compétentes.

Article 10

Le Gouvernement français s'engage à autoriser, sauf si un motif d'ordre public s'y oppose, sans frais de visa ni délai, l'entrée et le séjour en France pendant la durée de leurs fonctions ou missions auprès du Bureau :

- a) Des représentants des États Parties à la Convention du Mètre aux sessions des Conférences Générales des Poids et Mesures;
- b) Des membres du Comité International des Poids et Mesures;
- c) Des conseillers et experts convoqués à titre consultatif par le Comité International des Poids et Mesures;
- d) Des membres du personnel du Bureau et de leur famille.

Article 11

1. Les membres du personnel du Bureau appartenant de façon permanente aux catégories I, II et III définies à l'annexe au présent Accord sont exonérés de tout impôt sur les traitements et émoluments qui leur sont versés par le Bureau. Toutefois le Gouvernement de la République française se réserve la possibilité de faire état de ces traitements et émoluments pour le calcul du taux effectif ou moyen à appliquer aux revenus d'autres sources de ses propres ressortissants ainsi que des résidents permanents en France.

2. Le directeur, s'il n'exerce aucune activité lucrative étrangère à ses fonctions officielles, est, en outre, exonéré de la contribution mobilière pour sa résidence principale et des impôts frappant ses revenus de source étrangère.

Article 12

1. Les membres du personnel du Bureau définis à l'annexe au présent accord bénéficieront :

a) De l'immunité à l'égard de toute action judiciaire pour les actes accomplis par eux dans l'exercice de leurs fonctions et dans les limites de leurs attributions; cette immunité ne joue pas dans le cas d'infraction à la réglementation de la circulation des véhicules automoteurs commise par un membre du personnel du Bureau, ou de dommage causé par un véhicule automoteur lui appartenant ou conduit par lui;

b) S'ils résidaient auparavant à l'étranger, du droit d'importer en franchise leur mobilier et leurs effets personnels en cours d'usage, à l'occasion de leur établissement en France;

c) D'un titre de séjour spécial délivré par les autorités françaises compétentes pour eux-mêmes, leurs conjoint et enfants mineurs;

d) En période de tension internationale, des facilités de rapatriement accordées aux membres des missions diplomatiques.

2. Les membres du Bureau appartenant aux catégories I et II définies à l'annexe au présent Accord bénéficieront, en outre, du régime de l'importation en franchise temporaire pour leur véhicule automobile.

3. Les dispositions du paragraphe 1 (alinéas a et d) du présent article s'appliqueront, pendant la durée de leur mission auprès du Bureau, aux personnes mentionnées à l'article 10 (§ a, b et c).

Article 13

Les privilèges et immunités prévus par le présent Accord sont consentis à leurs bénéficiaires dans l'intérêt du bon fonctionnement du Bureau. Le Comité International ou le directeur du Bureau consentira à la levée de l'immunité accordée à l'un de ces bénéficiaires si celle-ci risque de gêner l'action de la justice et qu'elle peut être levée sans porter préjudice aux intérêts du Bureau.

Le Bureau coopérera constamment avec les autorités françaises compétentes en vue de faciliter la bonne administration de la justice, d'assurer l'exécution des règlements de police et d'éviter tout abus auquel pourraient donner lieu les immunités et facilités prévues par les articles 3 et 12 du présent Accord.

Article 14

Le Gouvernement de la République française n'est pas tenu d'accorder à ses propres ressortissants ni aux résidents permanents en France les privilèges et immunités mentionnés aux articles 11 (§ 2), 12 (§ 1 *b*, *c* et *d*) et 12 (§ 2).

Article 15

Tout différend entre le Gouvernement de la République française et le Comité International au sujet de l'interprétation ou de l'application du présent Accord sera, s'il n'est pas réglé par voie de négociation, soumis aux fins de décision définitive et sans appel à un tribunal composé de :

Un arbitre désigné par le Gouvernement de la République française;
Un arbitre désigné par le Comité International;

Un arbitre désigné par les deux premiers ou, en cas de désaccord, par le Président de la Cour internationale de justice.

Article 16

Le présent Accord sera approuvé par le Gouvernement de la République française et par le Comité International qui se notifieront mutuellement l'accomplissement de leurs formalités d'approbation respectives.

Il entrera en vigueur trente jours après la date de la dernière de ces notifications.

Fait en double exemplaire, en langue française, à Paris, le 25 avril 1969.

Pour le Gouvernement de la République française :

Gilbert DE CHAMBRUN,
Ministre plénipotentiaire,
directeur des Conventions administratives
et des Affaires consulaires

Pour le Comité International des Poids et Mesures :

José Maria OTERO NAVASCUES,
Marquis d'Hermosilla,
Président du Comité International des Poids et Mesures

ANNEXE

Le personnel du Bureau se répartit entre les quatre catégories suivantes :

I. — Le directeur, c'est-à-dire la personne désignée par le Comité International pour diriger le Bureau.

II. — Les fonctionnaires du Bureau, autres que le directeur, nommés par le Comité International pour exercer des fonctions de responsabilité dans les domaines propres aux activités administratives ou techniques de l'Organisation.

III. — Le personnel d'exécution administratif ou technique nommé par le directeur.

IV. — Le personnel de service, c'est-à-dire les personnes affectées à l'entretien et au service domestique de l'Organisation à l'exclusion du personnel affecté au service d'un membre du personnel de l'Organisation.

La présente annexe fait partie intégrante de l'Accord.

INDEX

- Accélération due à la pesanteur
détermination absolue de g (valeurs 1969-70; études diverses), 46
point de référence non perturbé, 51
Accord de siège, 12; texte, 125
Avertissement historique, 5
- Balance NBS-2, 43
Bâtiments, 31
câble téléphonique, 34
dépendances (galerie souterraine; clôture), 33
mur de soutènement, 33
Observatoire (transformation salles 4, 5, 7), 31
Pavillons (aménagement sous-sol; ravalements façades; chaufferie), 32
Budget 1971, 24
Bureau International de l'Heure, relations avec, 13, 17, 107
- Caisse de Retraites, 23
Calibres, mesure par comptage de franges, 35
Certificats, Notes d'étude, 81
Chambres d'ionisation
comparaison, 64, 93
corrections, 59
Comités Consultatifs, 12
Définition du Mètre, 17; 4^e rapport, 113
Définition de la Seconde, 5^e rapport, 99; discussion, 13
Rayonnements Ionisants (Section I), 17; rapport, 91
réunions futures, 22
Comité International, 7
bureau du, 12
démissions (Kersten, Nussberger), 12
élections (Djakov, Issaev, Stille), 12
membre honoraire (Kersten), 30
rapport du Secrétaire, 12
Commission Administrative, 12; rapport, 23
Comparaisons internationales
étalons capacité électrique 10 pF, 57
étalons d'exposition (chambres d'ionisation), 64, 93
étalons nationaux Ω et V, 55
instruments dans domaine radiofréquences, 57
source ^{60}Co (1 Ci), 63
source Ra-Be (γ , n) NBS II, 75
Comparateur
normal de 1 m (démontage), 35
photoélectrique et interférentiel, 35;
essai sous p réduite, 39
Comptage de franges, mesure de calibres par, 35
Comptes, 13, 88
- Dépôt des Prototypes métriques, visite, 29
Documentation, 83
Dotation du BIPM, proposition à 14^e CGPM, 25
- Échelles de temps (*voir* Temps)
Électricité, 55
étalons
capacité 10 pF, comparaisons internationales, 57
nationaux Ω et V, comparaisons, 55
instruments dans domaine radiofréquences, comparaisons internationales, 57
Étalons
atomiques de fréquence (progrès), 100
électriques (*voir* Électricité)
d'exposition (chambres d'ionisation), 64, 93
longueur
à bouts, 35, 40
à traits, 39, 40
méthodes et appareils de mesure, 119
N^o 1 pour mesure g , 47
matériels de longueur (comparaisons internationales envisagées), 121, 124
Étalons matériels de référence (rôle du BIPM et des Comités Consultatifs), 18
- Fils géodésiques, 41
Filtres interférentiels, 43
Franges achromatiques de superposition, déformation, 52
Fréquence, étalons atomiques de (progrès), 100
- Gravimétrie (*voir* Accélération due à la pesanteur)

- Interférométrie, 41, 113 (*voir* aussi Lasers, Radiations)
- Krypton 86, radiations étalons primaire et secondaires, 114, 116
- Lasers
mesure λ , 41
en métrologie, 116, 117, 123
- Longueurs, 35
mesures comparatives internationales envisagées, 121, 124
unité de (éventualité changement définition), 122, 124
- Machine à
diviser (réinstallée salle S 20), 35
mesurer (réinstallée salle 3), 35
- Manométrie (manobaromètres interférentiels), 54
- Masses, 43
- Masse volumique
eau lourde, 45
eau pure, 45
- Mesures neutroniques, 75
solution MnSO_4 , 76
sources
D(d, n) ^3He , 77
Ra-Be (α, n), (γ, n), 75, 76
Ra-Be (γ, n) NBS II de 1 Ci, 75
- Mètre (éventualité changement définition), 122, 124
- Mètres prototypes
N^{os} 19 et 26 (BIPM), 40
N^o 20 (Australie), 39
- Mole, 20
- Organismes internationaux et nationaux, travaux en liaison avec, 83, 95
- Pascal, 21
- Personnel du BIPM, 9, 23, 31
départs, 23, 31
engagements, 23, 31
traitements, 23
voyages, visites, conférences et exposés, 84
- Photométrie, 59
- Programme travail BIPM, discussion sur, 25
- Publications
du Bureau, 79
extérieures, 79
rapports internes, 80
- Radiations étalons
primaire, 114, 123
secondaires, 116
- Radionucléides, 66
ensemble (N^o 3) de comptage par coïncidences $4\pi\beta$ (CP)- γ , 67
méthode $4\pi\beta$ - γ , problèmes, 69
sources radioactives (^{56}Mn , ^{60}Co , etc.), étalonnage, 66
spectrométrie α (électro-aimant, sources), 72
supports de sources, résistance couche conductrice des, 68
- Rapport du directeur, 25
- Rayonnements ionisants (*voir* Mesures neutroniques, Radionucléides, Rayons X et γ)
- Rayons X et γ , 59
chambres d'ionisation, comparaison, 64, 93
condensateurs, comparaison, 62
dose absorbée, 95
exposition dans faisceau rayons γ du ^{60}Co , 94; corrections, 59
microdosimétrie théorique, 66
rapport réunion 1970, 91
sources ^{60}Co (1 Ci), comparaison, 63, 94
- Recommandations
C.C.D.Mètre 1970, 123
C.C.D.Seconde 1970, 110
Rubans géodésiques, 41
- Siemens, 21
- Spectrométrie α , 72
- Système International d'Unités (SI)
classification unités, 21
document sur, 12, 83
propositions (mole, pascal, siemens) à 14^e CGPM, 20
- Temps atomique international, échelle de, 14, 102
définition, 104, 110
maintien et diffusion, 107
mise en pratique, 111
tâches du BIH et du CIPM-BIPM, 16, 107
- Thermométrie
 t thermodynamique Au, 52
- Unités
base, fondamentale, 21
longueur (éventualité changement définition), 122, 124
- Visites et stages au BIPM, 86
- Voyages, visites, conférences et exposés
personnel du BIPM, 84

TABLE DES MATIÈRES

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

59^e Session (Octobre 1970)

| | Pages |
|--|-----------|
| Avertissement 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, 6-8 octobre 1970 | 11 |
| Ouverture de la session; bienvenue aux nouveaux membres; quorum..... | 11 |
| Approbation de l'ordre du jour; constitution de la Commission Administrative .. | 12 |
| <i>Rapport du Secrétaire du Comité International</i> (Membres du Comité: démissions de M. Kersten et J. Nussberger; élections de B. M. Issaev, U. Stille et E. Djakov. Accord de siège: ratification par le Parlement français et entrée en vigueur. Réunions des Comités Consultatifs. Bureau du Comité. Brochure sur le SI. Indications financières) | 12 |
| <i>Rapport du Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde. Relations avec le Bureau International de l'Heure</i> (Présentation et discussion du rapport de la 5 ^e session du C.C.D.S. Question de l'établissement d'une échelle de temps atomique international. Rôle de la Conférence Générale, du Comité International et du Bureau International dans ce domaine, en liaison avec le Bureau International de l'Heure auquel une contribution financière serait accordée) | 13 |
| Adoption de deux projets de résolutions à soumettre à la 14 ^e Conférence Générale concernant le Temps Atomique International et les arrangements à conclure avec le Bureau International de l'Heure | 16 |
| <i>Rapport du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre</i> (Présentation des conclusions de la 4 ^e session du C.C.D.M.) | 17 |
| <i>Rapport de la Section I (Mesure des rayons X et γ) du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants</i> (Présentation du rapport) .. | 17 |
| Commission préparatoire des Étalons matériels de référence (Importance de ces étalons et nécessité d'une coordination internationale dans ce domaine. Rôle que pourraient jouer le Bureau International et les Comités Consultatifs. Poursuite de l'enquête internationale en vue de la préparation d'un rapport à présenter à la 14 ^e Conférence Générale) | 18 |

| | |
|---|----|
| Système International d'Unités: propositions à la 14 ^e Conférence Générale (<i>Mole</i> comme 7 ^e unité de base; noms <i>siemens</i> et <i>pascal</i>) | 20 |
| Réunions futures des Comités Consultatifs (Dates des prochaines sessions) | 22 |
| <i>Commission Administrative</i> : Compte rendu de la réunion (Personnel: engagement d'un physicien et d'une technicienne; départ de deux techniciens. Caisse de Retraites: cas d'un fonctionnaire travaillant à mi-temps; modification à l'article 13 du Règlement de 1968. Approbation de l'exercice 1969. Traitements du personnel et avancements. Budget 1970: dépassement des crédits pour les bâtiments et voyages. Budget 1971. Accord de siège) | 23 |
| Approbation des propositions de la Commission Administrative et du budget pour 1971 | 24 |
| <i>Rapport du directeur et travaux du Bureau International</i> (Présentation du rapport: voir détails plus loin) | 25 |
| Dotations du Bureau International (Examen du document « Programme de travail et budget du B.I.P.M. dans les quatre années 1973-1976 » et discussion sur les dotations à demander à la 14 ^e Conférence Générale) | 25 |
| Visite du dépôt des Prototypes métriques' | 29 |
| <i>Questions diverses</i> | |
| Lieu et dates de la 14 ^e Conférence Générale et de la 60 ^e session du C.I.P.M. | 30 |
| Honorariat (M. Kersten est nommé membre honoraire du Comité International) ... | 30 |
| Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau International (1 ^{er} octobre 1969 — 1 ^{er} octobre 1970) | 31 |
| I. PERSONNEL. — (Situation. Départs de R. Czerwonka et J. Milobedzki. Engagements de V. D. Huynh et M ^{me} J. Coarasa) | 31 |
| II. BÂTIMENTS. — Observatoire (Transformation et aménagements des salles 4, 5 et 7). Grand Pavillon (Aménagement en sous-sol d'une salle d'archives-bibliothèque. Ravalement partiel (peinture) de la façade). Petit Pavillon (Ravalement au ciment de la façade sur cour et peintures des menuiseries extérieures. Adaptation au gaz de la chaudière de chauffage central). Dépendances (Aménagement d'une pièce en sous-sol pour les stabilisateurs de tension, et d'une galerie pour le passage de câbles électriques. Consolidation et réfection de murs de soutènement, et aménagement d'une aire de rangement extérieure. Réfection de clôtures extérieures). Téléphone (Pose d'un câble à 50 paires) | 31 |
| III. INSTRUMENTS ET TRAVAUX | 34 |
| Remarques générales sur les principaux travaux en cours. | 34 |
| <i>Longueurs</i> . — Démontage du comparateur normal pour étalons à traits de 1 m; déplacements des machines à diviser et à mesurer. Comparateur photoélectrique et interférentiel (Mise au point d'une méthode de mesure de calibres à bouts plans par comptage de franges; résultats obtenus. Enregistrement sous forme numérique des résultats de certaines mesures. Essai du comparateur sous pression réduite). Étalons à traits (Mètres prototypes N° 20 [Australie] et N°s 19 et 26 [B.I.P.M.]; règle N° 504 [Hauser, Suisse]). Étalons à bouts (Broche de 1 m; calibres divers [Hongrie, Roumanie]). Projet de dilatomètre interférentiel. Base géodésique (Fils et rubans; invar) | 35 |
| <i>Interférométrie</i> . — Mesures de longueurs d'onde de lasers (Laser à $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ asservi sur une raie d'absorption du méthane. Laser à $\lambda = 0,633 \mu\text{m}$ asservi sur le « Lamb-dip »). Étude de filtres interférentiels . | 41 |
| <i>Masses</i> . — Transformation de la salle des balances. Balance NBS-2 mise à notre disposition par le National Bureau of Standards. Études courantes (Kilogrammes [Finlande, Bulgarie]; masse de 10 g [France]). Masse volumique de l'eau lourde et de l'eau pure | 43 |

| | |
|--|----|
| <i>Gravimétrie.</i> — Détermination absolue de g (Intérêt d'une station permanente de gravimétrie absolue au Pavillon de Breteuil; collaboration internationale. Comparaison des mesures de l'étalon de longueur N° 1 à l'aide de deux interféromètres. Valeurs de g de juin 1969 à février 1970. Reproductibilité des résultats après démontage et remontage du gravimètre absolu. Freinage par l'air résiduel. Point de référence non perturbé. Déformation des franges achromatiques de superposition. Matériel acquis et construit) | 46 |
| <i>Thermométrie.</i> — Température thermodynamique du point de congélation de l'or (Conclusions provisoires de cette détermination). Études courantes | 52 |
| <i>Manométrie.</i> — Collaboration à la réalisation de manobaromètres interférentiels. Études courantes | 54 |
| <i>Électricité.</i> — 12 ^e comparaisons des étalons nationaux de résistance et de force électromotrice (Résultats). État d'avancement des comparaisons circulaires (Étalons de capacité en silice de 10 pF; instruments dans le domaine des radiofréquences). Études courantes (Mesures d'étalons de résistance et de f.é.m. pour divers pays) | 55 |
| <i>Photométrie.</i> — 5 ^e comparaison internationale des étalons photométriques (Rapport définitif en attente). Installations de mesure (Remplacement des batteries d'accumulateurs par des alimentations stabilisées). Études courantes (Étalonnage de lampes en température de couleur, en candelas et en lumens pour divers pays et pour le B.I.P.M.) | 59 |
| <i>Rayons X et γ.</i> — Détermination de l'exposition dans un faisceau de rayons γ du ^{60}Co à l'aide d'une chambre à cavité (Correction pour la recombinaison des ions; correction de pouvoir de ralentissement; corrections pour l'atténuation et pour le rayonnement diffusé par les parois de la chambre; correction due à l'épaisseur de la cavité). Comparaison de condensateurs. Comparaison de deux sources de ^{60}Co de l'ordre de 1 Ci. Comparaisons de deux chambres d'ionisation (étalons d'exposition) dans le domaine des rayons X mous (Mesures préliminaires; résultats). Microdosimétrie théorique: distribution de l'énergie déposée par des neutrons à l'intérieur d'ellipsoïdes de révolution ... | 59 |
| <i>Radionucléides.</i> — Étalonnages de sources radioactives (Solution de ^{56}Mn ; sources solides de ^{60}Co ; radionucléides à schéma de désintégration plus complexe. Rénovation de l'ensemble N° 2 de comptage par coïncidences $4\pi\beta(\text{CP})-\gamma$. Résistance des couches conductrices des supports de sources). Quelques problèmes concernant la méthode $4\pi\beta-\gamma$. Spectrométrie α (Électro-aimant: stabilisation et mesure du champ. Sources émettrices α pour mesures absolues d'énergie) | 66 |
| <i>Mesures neutroniques.</i> — Taux d'émission des sources de neutrons Ra-Be (α, n) de 200 mCi et Ra-Be (γ, n) de 500 mCi du B.I.P.M. Comparaison des mesures du N.B.S. et du B.I.P.M. sur le taux d'émission de la source de neutrons Ra-Be (γ, n) NBS II de 1 Ci. Taux d'émission d'une source de neutrons Ra-Be (γ, n) de 500 mCi en fonction de la masse de béryllium. Mesure de l'activité de la solution de MnSO_4 par la méthode de circulation. Source de neutrons $\text{D}(\text{d},n)^3\text{He}$ (Mesure par comptage des ^3He et par comptage des neutrons) | 75 |
| Publications du Bureau | 79 |
| Publications extérieures | 79 |
| Rapports internes | 80 |
| Certificats et Notes d'étude | 81 |
| IV. ACTIVITÉS ET RELATIONS EXTÉRIEURES | 83 |
| Documentation; Système International d'Unités | 83 |

| | |
|---|------------|
| Travaux en liaison avec des organismes internationaux et nationaux | 83 |
| Voyages, visites, conférences et exposés du personnel | 84 |
| Visites et stages au Bureau International | 86 |
| V. COMPTES. — (I. Fonds ordinaires. II. Caisse de Retraites. III. Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique. Bilan) | 88 |
| Premier Rapport de la Section I (Mesure des rayons X et γ) du Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants au Comité International des Poids et Mesures, par W. H. Henry | 91 |
| Cinquième Rapport du Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde au Comité International des Poids et Mesures, par B. Guinot | 99 |
| Quatrième Rapport du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre au Comité International des Poids et Mesures | 113 |
| Annexe | |
| 1. <i>Accord entre le Gouvernement de la République française et le Comité International des Poids et Mesures</i> | 125 |
| INDEX | 131 |

