

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

PROCÈS - VERBAUX

DES SÉANCES

2^e SÉRIE — TOME 37

58^e SESSION — 1969

(7-9 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 1969, 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 9 OCTOBRE 1969

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, Univer-
sité 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. P. HONTI, Vice-Président de l'Office National des Mesures, Németh-
völgyi ut. 37-39, *Budapest XII*.
7. B. M. ISSAEV*, Vice-Président du Comité des Normes, des Mesures et
Instruments de Mesure, Leninski prosp. 9 b, *Moscou* V 49.

* Coopté le 25 novembre 1969.

8. M. KERSTEN, Président de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 33-Braunschweig.
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, *Paris* 15^e.
11. J. NUSSBERGER, École Tchèque des Hautes Études Techniques, Institut de Physique, (C.V.U.T.), Husova 5, *Prague* I.
12. H. PRESTON-THOMAS, Sous-Directeur de la Division de Physique, Conseil National des Recherches, *Ottawa* 7, Ontario.
13. M. SANDOVAL VALLARTA, Membre de la Commission Nationale de l'Énergie Nucléaire, Insurgentes Sur 1079, *Mexico* 18, D.F.
14. K. SIEGBAHN, Directeur de l'Institut de Physique, Box 530, 75 121 *Uppsala* 1.
15. J. STULLA-GÖTZ, Ancien Président du Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Gentzgasse 3, 1180-*Vienne* 18.
16. Y. TOMONAGA, Président de l'Agency of Industrial Science and Technology, 3-1, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, *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. SIEGBAHN, Directeur du Nobelinstitutet för Fysik, *Stockholm* 50.
 9. 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 1970

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, G. Girard.

Techniciens et Calculateurs

P. Bréonce, L. Lafaye, J. Milobedzki, D. Carnet, C. Colas, F. Lesueur, J. Hostache, J. Fournier, J.-M. Chartier, C. Veyradier, C. Garreau, M^{me} R. Czerwonka (précédemment M. Thomas), R. Pello, 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

1 agent (A. Gama),
5 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 des Unités.
 5. Étalons matériels de référence: discussion sur une proposition de coordination internationale par le Bureau International.
 6. Échelles de temps: la compétence du C.I.P.M. doit-elle être étendue à ces échelles?
 7. Comités Consultatifs: composition, présidence, réunions futures.
 8. Rapport du directeur et travaux du Bureau International.
 9. Programme futur du Bureau International.
 10. Visite du caveau des prototypes.
 11. Rapport de la Commission Administrative.
 12. Préparation de la 14^e Conférence Générale.
 13. Revue *Metrologia*.
 14. Questions diverses.
-

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

58^e SESSION (OCTOBRE 1969)

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

TENUES AU BUREAU INTERNATIONAL

Présidence de Mr J. M. OTERO

Le Comité International s'est réuni pour sa 58^e session du mardi 7 au jeudi 9 octobre 1969. Il a tenu cinq séances au Pavillon de Breteuil.

Étaient présents : MM. DE BOER, BRANSCOMB, CINTRA DO PRADO, DUNWORTH, HONTI, KERSTEN, MARÉCHAL ⁽¹⁾, NUSSBERGER, OTERO, PRESTON-THOMAS, SANDOVAL VALLARTA, SIEGBAHN ⁽²⁾, STULLA-GÖTZ, TERRIEN (directeur du Bureau International) et GIACOMO (sous-directeur).

Mr BARRELL, membre honoraire du Comité, a participé aux travaux de la session.

Excusés : MM. LEHANY, TOMONAGA, VÄISÄLÄ, ainsi que Mr VOLET, directeur honoraire du Bureau International.

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 tous et en particulier à MM. Branscomb, Honti, Preston-Thomas nouvellement cooptés.

Il fait l'éloge de H. Niewodniczanski, décédé peu après la précédente session.

Le *Président* donne lecture de la lettre qu'il a reçue de Mr Novikov lui offrant sa démission de membre du Comité, ses nouvelles fonctions au sein de l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S. ne lui permettant plus de suivre les travaux du Comité International. Dans une autre lettre, le président du Comité des Normes, des Mesures et Instruments de Mesure de l'U.R.S.S. a soumis à l'attention du Comité International la candidature de Mr Issaev, vice-président du Comité des Normes. Dans l'attente d'une

(1) Mr Maréchal s'était excusé pour la séance du mercredi après-midi 8 octobre.

(2) Mr Siegbahn s'était excusé pour la dernière séance, le jeudi après-midi 9 octobre.

élection par cooptation, le Comité International est unanime pour inviter Mr Issaev à suivre les travaux de la présente session.

Le quorum étant atteint le Comité International peut délibérer valablement.

L'ordre du jour proposé est approuvé sans faire l'objet de remarques (p. 10).

2. La *Commission Administrative* est ainsi constituée: MM. de Boer, président, Branscomb, Cintra do Prado, Honti, Kersten, Sandoval Vallarta, Stulla-Götz.

Selon l'usage, tous les membres sont invités à assister aux travaux de cette Commission.

Mr de Boer donne lecture de son rapport.

3. Rapport du Secrétaire du Comité

(14 octobre 1968 — 7 octobre 1969)

1. Membres du Comité International

Décès. — H. Niewodniczanski, élu le 1^{er} février 1966, et qui a participé ensuite à toutes nos réunions, est décédé le 20 décembre 1968. Le président du Comité International a envoyé ses condoléances à sa famille et exprimé les profonds regrets de tout le Comité.

Démissions. — Mr L. E. Howlett, qui avait abandonné la présidence du Comité à la fin de notre session d'octobre 1968 parce qu'il devait se retirer de ses fonctions de directeur au Conseil National de Recherches d'Ottawa, a déclaré le 7 janvier 1969 que le moment était venu pour lui de se retirer complètement du Comité; notre Président a cru devoir accepter cette démission.

Mr A. V. Astin, qui a pris sa retraite de directeur du National Bureau of Standards de Washington, a également offert sa démission du Comité le 20 juin 1969.

Ces deux anciens membres ont été élus membres honoraires par un vote par correspondance.

Élections. — Trois nouveaux membres ont été élus à la suite de deux votes par correspondance à bulletins secrets, dépourillés le 25 mars 1969 et le 3 septembre 1969.

MM. P. HONTI, vice-président de l'Office National des Mesures de Budapest, et H. PRESTON-THOMAS, sous-directeur de la Division de Physique du N.R.C. d'Ottawa ont été cooptés lors du premier vote, et Mr L. M. BRANSCOMB, nouveau directeur du N.B.S. de Washington, lors du second vote.

2. *Accord de siège.* — Après de nombreuses années de pourparlers, le bureau du Comité et le Gouvernement Français sont convenus du texte de l'accord de siège qui doit réglementer les relations entre le Comité International et le Gouvernement Français. Cet accord a été signé à Paris le 25 avril 1969 par le représentant du Ministère des Affaires Étrangères de France et par le président du Comité International. Il a été ratifié par les membres du Comité le 7 juillet par un vote par correspondance.

Les autorités françaises ont entamé la procédure de ratification de cet accord; il doit d'abord être approuvé en Conseil d'État avant d'être soumis au vote du Parlement.

3. *Réunions de Comités Consultatifs et de Groupes de travail.* — Le Groupe de travail des mesures neutroniques s'est réuni du 21 au 23 avril 1969 au Pavillon de Breteuil, sous la présidence de Mr K. W. Geiger.

Le Comité Consultatif des Unités a tenu sa deuxième session au Pavillon de Breteuil, du 2 au 5 juin 1969, sous la présidence de Mr J. de Boer.

4. *Étalons matériels de référence.* — A sa session d'octobre 1968 le Comité avait accepté, sur proposition de Mr A. V. Astin, de patronner, conjointement avec le N.B.S.,

une réunion internationale d'étude sur un programme international concernant les étalons matériels de référence. Le président du Comité et le directeur du Bureau ont assisté à cette réunion qui s'est tenue au N.B.S. à Gaithersburg à la fin de mai 1969. Les participants ont conclu à une forte majorité que le Bureau International devrait prendre à sa charge un programme international, tout d'abord sur le plan de la documentation et de l'échange d'informations entre pays. Le bureau du Comité a adressé un questionnaire à plusieurs grands laboratoires nationaux afin de recueillir leurs avis pour les présenter à la présente session du Comité International.

5. *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.

	1966	1967	1968	1969
Fonds ordinaires	355 644,11	786 956,47	859 345,03	1 339 611,32
Caisse de Retraites	78 603,39	98 945,53	144 860,36	188 335,92
Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique	8 663,59	8 663,59	8 663,59	8 663,59
Laboratoire pour les radiations ionisantes (construction et équipement de base)	582 469,96	538 636,79	361 449,64	—
Totaux	1 025 381,05	1 433 202,38	1 374 318,62	1 536 610,83

Au compte « Laboratoire pour les radiations ionisantes », 100 978 francs-or ont été dépensés pendant l'exercice 1968 pour l'équipement scientifique de base; ce compte a été clos le 31 décembre 1968 et son solde disponible, d'un montant de 281 478 francs-or compte tenu d'autres recettes et dépenses, a été viré au compte « Fonds ordinaires ». Les dernières dépenses d'équipement de base de la Section des radiations ionisantes, ainsi que la location de l'ordinateur, seront désormais imputées au compte « Fonds ordinaires ».

Ce rapport ne fait l'objet d'aucun commentaire; il est approuvé à l'unanimité.

4. Rapport du Comité Consultatif des Unités (C.C.U.)

Mr de Boer, président du C.C.U., donne lecture du rapport de ce Comité Consultatif qui s'est réuni en juin 1969 (*voir* p. 107).

L'adoption d'une unité de *quantité de matière* (*mole*) est mise en discussion. Il est rappelé que la 13^e Conférence Générale avait ajourné la décision et demandé un complément d'étude. Le C.C.U., après un nouvel examen de la question, demande au Comité International d'ajouter la mole à la liste des unités de base du SI. Le Professeur McGlashan, président de la Commission « Symboles, Terminologie et Unités » de l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée, a plaidé vigoureusement pour l'introduction de la mole dans le SI, la mole étant en effet depuis longtemps une des pierres angulaires de la chimie; les chimistes sont gênés dans l'utilisation du SI par le fait que la mole n'en fait pas partie.

Le C.C.U. a confirmé la position qu'il avait prise en 1967 et demandé au Comité International de présenter la Recommandation U 1 (1969) (*voir* p. 116) à la 14^e Conférence Générale. A l'appui de cette demande d'adoption de la mole, le président du C.C.U. signale les prises de position concordantes de l'U.I.P.P.A., de l'U.I.C.P.A., de l'I.S.O. et de la Royal Society de Londres.

Mr de Boer reconnaît que la plupart des physiciens ne se rendent peut-être pas compte avec suffisamment d'exactitude de la signification physique de la mole, d'où l'utilité de quelques explications. On pourrait penser par exemple que la mole devrait être définie comme étant $6,022 \times 10^{23}$ particules; cela équivaldrait à fixer par convention le nombre d'Avogadro, dont la valeur n'est pas connue avec une précision suffisante; les inconvénients seraient aussi gênants que si l'on définissait la charge électrique comme étant un multiple conventionnel de la charge de l'électron. On pourrait encore penser que la quantité de matière peut se mesurer en unités de masse, puisqu'une mole de ^{12}C a une masse de 12 g; mais une mole de HgCl a une masse de 236,04 g, une mole de Hg_2Cl_2 une masse de 472,08 g, une mole d'électrons e^- une masse de $5,4860 \times 10^{-4}$ g, etc.; c'est pour éviter des complications que les chimistes emploient la mole depuis bien longtemps. Cette unité d'usage quotidien a pour eux une signification claire; de la signification de l'unité découle la signification de la grandeur correspondante, dont le nom en usage est « quantité de matière » (« amount of substance »). Comme la longueur ou la masse, cette grandeur est indépendante; elle a sa dimension propre, c'est-à-dire qu'elle n'est pas définie à partir d'autres grandeurs, comme par exemple le volume qui a la dimension d'une longueur au cube.

En relation avec ce sujet, la discussion s'engage sur le sens exact à donner à l'expression « unité de base ». Mr Dunworth souligne fortement la différence à faire entre la base des mesures et les unités. A son avis les discussions suscitées par la mole, pour savoir si elle doit ou non être considérée comme une unité de base, devraient être l'occasion pour le Comité International de mettre les choses au point, car le cas risque de se présenter à nouveau pour l'introduction d'autres unités.

Mr Dunworth estime qu'il y a deux concepts qu'il convient de distinguer. Il est certain que l'on doit reconnaître que la mole existe, mais doit-on la considérer comme une unité de base ou comme une unité ayant le même caractère que le radian ou le stéradian? Il s'agit d'un problème de fond qu'il faut éclaircir si l'on veut affirmer la position du SI et étendre son utilisation, non seulement dans les milieux scientifiques mais également dans l'industrie et le commerce.

Le Comité International se met d'accord pour que soit demandé au B.I.P.M. de rédiger avant la session de 1970 un mémorandum rassemblant les divers points de vue sur la question et exposant la nature des problèmes soulevés. Le Président estime qu'une telle étude serait utile pour que le Comité International, à sa session d'octobre 1970, se mette d'accord sur un texte d'introduction qui faciliterait la décision de la Conférence Générale en ce qui concerne la mole.

En conclusion, le Comité International approuve la proposition du C.C.U. (voir Recommandation U 1 (1969), p. 116) de présenter à la 14^e Conférence Générale un projet de résolution sur la définition de la mole et plaçant cette unité dans la catégorie des unités de base.

Poursuivant la discussion sur les unités, le Comité International pré-

cise la définition des trois catégories A, B et C selon lesquelles le C.C.U. a proposé de classer les unités en dehors du Système International (voir p. 114) :

- A. — Unités en dehors du SI qu'il est nécessaire de maintenir pour qu'elles soient employées conjointement avec les unités du SI.
- B. — Unités en dehors du SI dont l'emploi pourra être évité, mais qu'il semble préférable de maintenir temporairement pour qu'elles soient employées conjointement avec les unités du SI, en raison de la force des usages existants.
- C. — Les unités qui sont en dehors du SI et qui ne sont pas dans les listes A et B peuvent être remplacées par des unités du SI. La liste C en donne quelques exemples.

Le Comité International reprend l'examen de la Recommandation 1, concernant l'appellation « Système International d'Unités », qui avait été adoptée en octobre 1967 mais n'avait pas été publiée en raison d'objections faites par la suite; à sa session d'octobre 1968 le Comité International avait reconnu la nécessité de renvoyer le texte de cette recommandation devant le C.C.U.

Après discussion et compte tenu de la proposition du C.C.U., le Comité adopte à l'unanimité la *Recommandation 1* (1969) (voir p. 30).

Le Comité International donne son accord à la proposition du C.C.U. recommandant l'adoption des noms spéciaux *siemens* pour l'unité SI de conductance électrique, et *pascal* pour l'unité SI de pression (voir p. 111), ainsi qu'à la pratique d'inclure, dans les tableaux des unités SI, l'unité 1 pour les grandeurs dites sans dimensions (voir p. 112).

Le Comité International aborde ensuite la question des symboles et abréviations des noms d'unités à employer dans les machines pour le traitement de l'information. Cette question avait été soulevée lors de la 1^{re} session du C.C.U. qui, à l'époque, avait estimé qu'elle était de la compétence d'un comité spécialisé de l'I.S.O. Or, aujourd'hui il est à craindre que l'usage des abréviations impropres employées dans les ordinateurs ne se répande ailleurs par habitude, par snobisme et parce qu'elles seraient considérées comme plus commodes dans certains milieux. Il appartient au Comité International de mettre en garde les utilisateurs contre tout usage contraire au SI. Le Comité est d'avis que la seule solution vraiment satisfaisante est d'écrire le nom des unités en toutes lettres.

Le C.C.U. pourrait donner à titre officieux son avis sur les usages qui pourraient être tolérés dans des cas strictement délimités.

5. Étalons matériels de référence :
Discussion sur une proposition de coordination internationale
par le Bureau International

A sa session de 1968, le Comité International avait accepté de patronner une réunion d'étude sur les étalons matériels de référence (« standard

reference materials »). Cette réunion s'est tenue en mai 1969 au N.B.S. à Gaithersburg (États-Unis d'Amérique); le président du Comité et le directeur du Bureau y assistaient. Les participants ont exprimé l'opinion quasi unanime que le B.I.P.M. devrait prendre la charge d'un programme international ⁽³⁾.

L'intérêt porté aux étalons matériels de référence étant général à l'échelle mondiale, le problème est de savoir quel organisme peut offrir une garantie sur le plan international pour ces étalons. Certains organismes n'ont qu'une autorité locale, seulement européenne par exemple. C'est pourquoi, assez naturellement, certains ont pensé au B.I.P.M. qui, par vocation, a un rôle de coordination internationale.

Un petit groupe d'étude comprenant MM. Dunworth, Branscomb, Issaev, Kersten, Preston-Thomas et Giacomo a étudié au cours de la session les tâches qui pourraient être entreprises immédiatement dans ce domaine et évalué le budget approximatif nécessaire. La conclusion du Comité est que le B.I.P.M. ne peut s'occuper de l'ensemble des problèmes posés par les étalons matériels de référence sans une augmentation considérable de son personnel et de son budget. Un programme restreint semble toutefois pouvoir être envisagé; il pourrait être pris en charge par une ou deux personnes expérimentées, engagées temporairement à titre d'essai.

Le Comité décide en conséquence de constituer une commission préparatoire chargée d'étudier un tel programme et les moyens nécessaires pour sa mise en œuvre; cette commission comprend MM. Dunworth, Kersten, Issaev, Branscomb, Preston-Thomas, Giacomo (secrétaire). La création d'un nouveau Comité Consultatif pour cette question apparaît actuellement prématurée.

6. Échelles de temps : la compétence du C.I.P.M. doit-elle être étendue à ces échelles?

Plusieurs Organismes internationaux qui se sont occupés jusqu'à présent des échelles de temps, principalement l'Union Astronomique Internationale (U.A.I.), l'Union Radioscopique Internationale (U.R.S.I.) et le Comité Consultatif International des Radiocommunications (C.C.I.R.), désirent maintenant que le C.I.P.M. prenne une part active à ce travail. Le Comité International prend connaissance des conclusions adoptées à ce sujet par l'Assemblée Générale de l'U.R.S.I. (Ottawa, août 1969), et à la réunion du Groupe d'Étude VII du C.C.I.R. (Genève, octobre 1969). Un rapport de la P.T.B. sur le même sujet est distribué (Annexe 1, p. 118), ainsi qu'une lettre de Mr D. H. Sadler, président de la Fédération des Services permanents d'Astronomie et de Géophysique (F.A.G.S.) du Conseil International des Unions Scientifiques (I.C.S.U.), suggérant que le C.I.P.M. accorde une aide financière au Bureau Inter-

⁽³⁾ Un rapport sur cette réunion est publié dans *Metrologia*, **6**, N° 1, 1970, pp. 33-34 (A.V. Astin, Report on the symposium on an international Standard Reference Materials program).

national de l'Heure (B.I.H.), et demandant au Comité International de désigner un observateur au comité de direction du B.I.H. Le bureau du Comité International a désigné Mr P. Giacomo comme observateur, mais il appartient au Comité International d'examiner la demande d'une subvention au B.I.H.

Le B.I.H., autrefois purement astronomique, a tout naturellement étendu son activité aux échelles de temps atomiques, mais il lui manque deux choses :

1° Un patronage moral et scientifique vraiment international. Par exemple, le directeur du B.I.H. a créé ces derniers mois une échelle de temps atomique qui est excellente, mais il l'a créée de lui-même sans pouvoir s'appuyer sur les conseils d'un organisme international. L'autorité de cette échelle de temps atomique serait plus grande si un comité consultatif ou un organisme international garantissait que cette échelle est réalisée suivant des directives approuvées par les cercles compétents. C'est une première chose que nous pouvons garantir au B.I.H., peut-être simplement par l'intermédiaire du Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (C.C.D.S.), lequel pourrait être complété par quelques membres nouveaux, compétents dans les problèmes de navigation, d'astronomie et de relativité.

2° Le B.I.H. n'a pas les ressources financières stables souhaitables pour un service permanent international. En effet, environ 80 % de ses ressources lui sont fournies par l'Observatoire de Paris. Aussi la question est-elle de savoir s'il est possible au C.I.P.M. de contribuer au financement du B.I.H.; le seul procédé qui soit en notre pouvoir est de présenter par la voie diplomatique une proposition dans ce sens aux Gouvernements des États membres de la Convention du Mètre.

Sur l'invitation du Comité, Mr Guinot, actuel directeur du B.I.H., expose le fonctionnement et les activités de ce Bureau qui, créé en 1919, a son siège depuis cette époque à l'Observatoire de Paris. Le B.I.H. est l'un des services permanents de la F.A.G.S.; il est placé sous l'autorité d'un comité de direction comprenant :

2 membres qui représentent l'U.A.I.

1 — — — l'U.G.G.I.

1 — — — l'U.R.S.I.

2 observateurs, l'un pour le C.C.I.R., l'autre pour le C.I.P.M.
le directeur du B.I.H.

Le B.I.H. est un centre de coordination et de calcul; il rassemble les observations astronomiques en relation avec la détermination du temps universel et de la latitude, analyse ces observations, et calcule les meilleures valeurs du temps universel et des coordonnées du pôle; il est chargé aussi de la coordination des signaux horaires; il fournit des données numériques et des informations de caractère scientifique aux utilisateurs du temps.

Si la détermination du temps astronomique est une activité impor-

tante pour laquelle le B.I.H. est bien soutenu par l'Observatoire de Paris, il y a lieu aujourd'hui de considérer une deuxième activité du B.I.H., celle du temps atomique dont il s'occupe depuis quelques années. Dans ce domaine le but du B.I.H. est d'établir une échelle de « temps atomique international » et de donner accès à cette échelle. Dans l'état actuel des choses plusieurs laboratoires ou pays maintiennent des échelles de temps atomiques indépendantes. Le B.I.H. en déduit une échelle moyenne et publie les différences avec les échelles nationales. Ces différences varient très lentement et d'une façon quasi linéaire. Sur une durée de quelques mois, la stabilité obtenue est de 1×10^{-13} , et les synchronisations sont précises à $0,1 \mu\text{s}$ près.

Bien que ses statuts montrent que le B.I.H. est essentiellement un centre de calcul, une action efficace n'est possible que si le B.I.H. dispose d'un laboratoire effectuant des mesures. Le B.I.H. doit en particulier conserver sa propre échelle de temps; il devrait donc disposer d'un certain nombre d'appareils, qui comprendraient au minimum trois horloges atomiques, les moyens de comparaison et une horloge mobile afin d'effectuer des synchronisations lorsque c'est nécessaire.

Des instruments de travail existent à l'Observatoire de Paris grâce à la générosité d'organismes français, américain et allemand, mais il n'apparaît pas sain qu'un laboratoire international dépende uniquement de la bonne volonté de quelques organismes nationaux.

Il semble que le budget annuel minimal pour que le B.I.H. puisse fonctionner de façon autonome serait de 100 000 dollars U.S. Cette estimation se réfère au matériel existant actuellement. S'il apparaissait un nouveau type d'horloge, de prix plus élevé, le chiffre serait à revoir.

Le Comité International reconnaît que les échelles de temps devraient logiquement être maintenant de sa compétence, et qu'il faut donc faire une proposition aux Gouvernements afin que le B.I.H. soit contrôlé et financé, au moins partiellement, par des organismes de la Convention du Mètre.

La solution la plus nette serait une fusion complète du B.I.H. et du B.I.P.M. Elle a cependant deux inconvénients : la liaison entre le B.I.H. et les établissements astronomiques serait affaiblie, et les crédits financiers à demander seraient élevés.

Une autre solution serait que le Comité International ne s'occupe que du temps atomique; par exemple il ferait exécuter sous sa surveillance, par le B.I.H., les travaux concernant le temps atomique, selon un contrat financé par un budget spécial accordé par la Conférence Générale.

Le Comité International prie Mr Dunworth, président du C.C.D.S., d'étudier à bref délai les formes juridiques d'un contrat de ce genre ou d'autres solutions, et de convoquer son Comité Consultatif afin qu'il prépare des textes définissant clairement les relations entre le C.I.P.M. et le B.I.H., textes que le Comité International pourrait soumettre aux Gouvernements.

Mr *Branscomb* rappelle que le C.C.D.S. doit aussi étudier la définition et le maintien d'une échelle de temps atomique international. Il peut le faire immédiatement; il est même important qu'il commence sans délai, afin d'affirmer que le C.I.P.M. a un rôle actif à jouer, et afin que ce rôle soit bien reconnu par les Gouvernements. C'est un préalable qui rendra plus faciles les demandes de crédits financiers.

7. Comités Consultatifs: composition, présidence, réunions futures

La composition des sept Comités Consultatifs n'ayant pas été revue en octobre 1968, après la clôture de la 13^e Conférence Générale, il convient de l'examiner à cette session.

Avant d'aborder la discussion, Mr *Terrien* donne lecture du règlement des Comités Consultatifs (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 1963) et rappelle leur rôle, qui est de conseiller le C.I.P.M. C'est pourquoi ce règlement demande que les présidents soient choisis autant que possible parmi les membres du Comité International. Une opinion différente a été émise tendant à donner la préférence à un président jeune, non membre du Comité International, versé dans le travail de laboratoire, opinion que Mr *Branscomb* appuie volontiers. Les deux positions ont leur valeur. Toutefois des considérations d'ordre matériel interviennent également. Il faut que les présidents aient des facilités pour se déplacer. S'il existe parmi les membres du Comité International des spécialistes dans les domaines d'activités des Comités Consultatifs, il semble encore préférable de les choisir comme présidents.

Si la tâche essentielle des Comités Consultatifs est de conseiller le Comité International, ils jouent aussi, en fait, un rôle important dans la coordination internationale des travaux métrologiques, par l'information mutuelle des participants, qui sont surtout des laboratoires nationaux, et par l'organisation des comparaisons internationales. Les Comités Consultatifs doivent donc comprendre essentiellement des physiciens qui travaillent à l'amélioration des étalons de base. Il est par ailleurs très utile que les travaux du Bureau International et du Comité International soient connus dans divers pays par l'intermédiaire des participants aux Comités Consultatifs. Les laboratoires qui n'ont pas beaucoup d'expérience désireraient assister aux séances en qualité d'observateurs, mais un trop grand nombre de participants peut rendre le travail difficile.

Après ces considérations générales, la composition des Comités Consultatifs et des Groupes de travail est établie comme suit :

Comité Consultatif d'Électricité (C.C.E.)

Président: F. J. Lehany, National Standards Laboratory, Chippendale.

Membres:

Conseil National de Recherches, Ottawa.

Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris.

Deutsches Amt für Messwesen und Warenprüfung, Berlin.

Electrotechnical Laboratory, Tokyo.
Institut de Métrologie D. I. Mendéléév, Leningrad.
Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin.
National Bureau of Standards, Washington.
National Physical Laboratory, Teddington.
National Physical Research Laboratory, Pretoria.
National Standards Laboratory, Chippendale.
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.
Le Directeur du Bureau International des Poids et Mesures.

Groupe de travail pour les méthodes et les résultats de mesure du coefficient gyromagnétique du proton

Président: P. Vigoureux, National Physical Laboratory, Teddington.

Membres:

P. L. Bender, National Bureau of Standards, Joint Institute for Laboratory Astrophysics, Boulder.
H. Capptuller, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.
K. Hara, Electrotechnical Laboratory, Tokyo.
J. T. Henderson, Conseil National de Recherches, Ottawa.
Un représentant de l'Institut de Métrologie D. I. Mendéléév, Leningrad.

Groupe de travail pour les grandeurs aux radiofréquences

Président: F. J. Lehany, National Standards Laboratory, Chippendale.

Membres:

Conseil National de Recherches, Ottawa.
Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris.
Deutsches Amt für Messwesen und Warenprüfung, Berlin.
Electrical Inspection Directorate Laboratories, Ministry of Aviation, Bromley (Royaume-Uni).
Electrotechnical Laboratory, Tokyo.
Institut de Métrologie D. I. Mendéléév, Leningrad.
Institut des Télécommunications, Budapest.
Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin.
National Bureau of Standards, Washington.
National Physical Laboratory, Teddington.
National Standards Laboratory, Chippendale.
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.
Union Radioscientifique Internationale, Bruxelles.
P. O. Lundbom, Institut de Recherche de la Défense Suédoise, Stockholm.

Comité Consultatif de Photométrie (C.C.P.)

Mr Otero ayant manifesté son désir de quitter la présidence du Comité Consultatif de Photométrie, celle-ci est confiée à Mr Maréchal.

Président: A. Maréchal, Institut d'Optique, Paris.

Membres:

Conseil National de Recherches, Ottawa.
Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris.
Deutsches Amt für Messwesen und Warenprüfung, Berlin.
Electrotechnical Laboratory, Tokyo.
Institut de Métrologie D. I. Mendéléév, Leningrad.
National Bureau of Standards, Washington.
National Physical Laboratory, Teddington.
National Physical Research Laboratory, Pretoria.
National Standards Laboratory, Chippendale.
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.
J. M. Otero, ancien président du C.C.P., Centro Nacional de Energia Nuclear Juan Vigón, Madrid.

L. Plaza, Instituto de Optica Daza Valdes, Madrid.
F. Rotter, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Vienne.
G. A. W. Rutgers, Fysisch Laboratorium, Utrecht.
W. D. Wright, Imperial College of Science and Technology, Londres.
Le Directeur du Bureau International des Poids et Mesures.

Groupe de travail de l'étalon primaire photométrique

Président: C. L. Sanders, Conseil National de Recherches, Ottawa.

Membres:

B. Fischer, Deutsches Amt für Messwesen und Warenprüfung, Berlin.
O. C. Jones, National Physical Laboratory, Teddington.
V. E. Kartachevskaja (Mme), Institut de Métrologie D. I. Mendéléev, Leningrad.
B. Steiner, National Bureau of Standards, Washington.
H. Willenberg, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.
K. Yoshié, Electrotechnical Laboratory, Tokyo.

Groupe de travail de la radiométrie

Président: E. J. Gillham, National Physical Laboratory, Teddington.

Membres:

R. E. Bedford, Conseil National de Recherches, Ottawa.
K. Bischoff, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.
W. R. Blevin, National Standards Laboratory, Chippendale.
V. E. Kartachevskaja (Mme), Institut de Métrologie D. I. Mendéléev, Leningrad.
Kaufhold, Deutsches Amt für Messwesen und Warenprüfung, Berlin.
H. J. Kostkowski, National Bureau of Standards, Washington.
G. A. W. Rutgers, Fysisch Laboratorium, Utrecht.
K. Yoshié, Electrotechnical Laboratory, Tokyo.

Comité Consultatif de Thermométrie (C.C.T.)

Président: H. Preston-Thomas, Conseil National de Recherches, Ottawa.

Membres:

Conseil National de Recherches, Ottawa.
Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris.
Deutsches Amt für Messwesen und Warenprüfung, Berlin.
Institut de Métrologie D. I. Mendéléev, Leningrad.
Institut des Mesures Physicotechniques et Radiotechniques, Moscou.
Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin.
Kamerlingh Onnes Laboratorium, Leiden.
National Bureau of Standards, Washington.
National Physical Laboratory, Teddington.
National Research Laboratory of Metrology, Tokyo.
National Standards Laboratory, Chippendale.
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.
J. de Boer, ancien président du C.C.T., Instituut voor Theoretische Fysica, Amsterdam.
F. G. Brickwedde, Pennsylvania State University, Pennsylvania.
M. Colomina, Institut National de Chimie Physique Antonio de Gregorio Rocasolano, Madrid.
J. Skakala, Institut Métrologique Tchecoslovaque, Bratislava.
Le Directeur du Bureau International des Poids et Mesures.

Le Comité International rend hommage à Mr F. G. Brickwedde qui, depuis 1964, a présidé le C.C.T. et mené avec succès le travail difficile d'établissement de l'Échelle Internationale Pratique de Température de 1968.

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

La présidence du C.C.D.M. étant vacante à la suite de la démission de Mr Howlett du Comité International, Mr Otero, spécialiste de l'optique, est désigné pour assurer la présidence de ce Comité Consultatif.

Président : J. M. Otero, Centro Nacional de Energia Nuclear, Madrid.

Membres :

Conseil National de Recherches, Ottawa.
Deutsches Amt für Messwesen und Warenprüfung, Berlin.
Institut de Métrologie D. I. Mendéléév, Leningrad.
Joint Institute for Laboratory Astrophysics, Boulder.
National Bureau of Standards, Washington.
National Physical Laboratory, Teddington.
National Research Laboratory of Metrology, Tokyo.
National Standards Laboratory, Chippendale.
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.
B. Edlen, Fysiska Institutionen, Lund.
L. Frenkel, National Aeronautical and Space Administration, Cambridge (U.S.A.).
K. Shimoda, University of Tokyo, Tokyo.
Y. Väisälä, Professeur à l'Université, Turku.
Le Directeur du Bureau International des Poids et Mesures.

Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (C.C.D.S.)

Le *Président* du Comité International souligne que les modifications à apporter à la composition du C.C.D.S. doivent tenir compte des problèmes soulevés par les échelles de temps et des relations à établir avec le Bureau International de l'Heure. Pour les questions de relativité qui pourront se poser, le président du C.C.D.S. consultera, et invitera si nécessaire à participer aux sessions, des spécialistes dans ce domaine. Compte tenu de ces remarques, la liste des membres du C.C.D.S. est ainsi fixée :

Président : J. V. Dunworth, National Physical Laboratory, Teddington.

Membres :

Bureau International de l'Heure, Paris.
Bureau des Longitudes, Paris.
Comité Consultatif International des Radiocommunications (C.C.I.R.) de l'Union Internationale des Télécommunications, Genève.
Commission Nationale de l'Heure, Paris.
Conseil National de Recherches, Ottawa.
Deutsches Amt für Messwesen und Warenprüfung, Berlin.
Institut des Mesures Physicotechniques et Radiotechniques de l'U.R.S.S., Moscou.
Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Turin.
Laboratoire de l'Horloge Atomique du Centre National de la Recherche Scientifique, Besançon, Bagnex, Orsay.
Laboratoire Suisse de Recherches Horlogères, Neuchâtel.
National Bureau of Standards, Boulder.
National Physical Laboratory, Teddington.
National Research Laboratory of Metrology, Tokyo.
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.
Radio Research Laboratories, Tokyo.
Royal Greenwich Observatory, Hailsham.
Union Astronomique Internationale.

U.S. Coast Guard, Washington.
U.S. Naval Observatory, Washington.
J. Bonanomi, Observatoire de Neuchâtel, Neuchâtel.
A. Orte, Instituto y Observatorio de Marina, San Fernando.
Le Directeur du Bureau International des Poids et Mesures.

Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants
(C.C.E.M.R.I.) (4)

L'importance de la liste des membres du C.C.E.M.R.I. s'explique par la tâche initiale de ce Comité Consultatif, qui était d'ouvrir une enquête étendue avant de proposer à la Conférence Générale la création de nouveaux laboratoires au Bureau International. Ces dernières années ce sont surtout les Groupes de travail qui ont été actifs, mais aucune raison sérieuse ne s'imposait pour convoquer le Comité Consultatif. En conséquence, il est suggéré de transformer ces Groupes de travail en quatre Comités Consultatifs distincts; cette proposition n'est pas retenue.

Mr de Boer propose alors de constituer dans le C.C.E.M.R.I. quatre sections indépendantes, chacune d'elles présentant directement son rapport au Comité International. Cette proposition est acceptée et MM. Siegbahn et Sandoval Vallarta sont chargés de constituer ces quatre sections. La composition finale du C.C.E.M.R.I. est approuvée comme suit :

Président : K. Siegbahn, Institut de Physique, Université d'Uppsala.

Membres :

P. J. Campion (président de la Section II), National Physical Laboratory, Teddington.
R. S. Caswell (président de la Section III), National Bureau of Standards, Washington.
W. A. Jennings (président de la Section I), National Physical Laboratory, Teddington.
M. Sandoval Vallarta, Commission Nationale de l'Énergie Nucléaire, Mexico.
Le Directeur du Bureau International des Poids et Mesures.

SECTION I. *Mesure des rayons X et γ*

Président : W. A. Jennings, National Physical Laboratory, Teddington.

Membres :

A. Allisy, Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris.
G. Bengtsson, National Institute for Radiation Protection, Stockholm.
A. Brosed, Junta de Energia Nuclear, Madrid.
W. H. Henry, Conseil National de Recherches, Ottawa.
W. Hübner, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.
M. Judine, Institut de Métrologie D. I. Mendéléev, Leningrad.
J. W. Motz, National Bureau of Standards, Washington.
Z. Referowski, Bureau National de la Qualité et des Mesures, Varsovie.
A. Somerwil, Rijks Instituut voor de Volksgezondheid, Utrecht.
H. O. Wyckoff, président de l'I.C.R.U.
K. Zsdanszki, Office National des Mesures, Budapest.

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

SECTION II. *Mesure des radionucléides*

Président: P. J. Campion, National Physical Laboratory, Teddington.

Membres:

- A. H. W. Aten, Jr., Instituut voor Kernfysisch Onderzoek, Amsterdam.
- A. P. Baerg, Conseil National de Recherches, Ottawa.
- C. E. Granados, Junta de Energia Nuclear, Madrid.
- B. Grinberg, Centre d'Études Nucléaires de Saclay, Gif-sur-Yvette.
- F. Karavaev, Institut de Métrologie D. I. Mendéléev, Leningrad.
- B. Karlik (M^{me}), Institut für Radiumforschung und Kernphysik, Vienne.
- W. B. Mann, National Bureau of Standards, Washington.
- A. Spornol, Bureau Central de Mesures Nucléaires d'Euratom, Geel.
- J. G. V. Taylor, Atomic Energy of Canada Limited, Chalk River.
- H. M. Weiss, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.
- A. Williams, National Physical Laboratory, Teddington.

SECTION III. *Mesures neutroniques*

Président: R. S. Caswell, National Bureau of Standards, Washington.

Membres:

- E. J. Axton, National Physical Laboratory, Teddington.
- G. von Droste, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.
- K. W. Geiger, Conseil National de Recherches, Ottawa.
- I. Jaritzina (M^{me}), Institut de Métrologie D. I. Mendéléev, Leningrad.
- F. Netter, Centre d'Études Nucléaires de Saclay, Gif-sur-Yvette.
- E. Teranishi, Electrotechnical Laboratory, Tokyo.

SECTION IV. *Étalons d'énergie alpha*

Président: K. Siegbahn, Institut de Physique, Université d'Uppsala.

Membres:

- F. Asaro, Lawrence Radiation Laboratory, Berkeley.
- S. A. Baranov, Institut d'Énergie Atomique I. V. Kourchatov, Moscou.
- G. Murray, Schuster Laboratory, Manchester.
- R. J. Walen, Centre de Spectrométrie Nucléaire et de Spectrométrie de Masse, Orsay.

Comité Consultatif des Unités (C.C.U.)

Mr *Honti* pose le problème de la participation de l'Organisation Internationale de Métrologie Légale (O.I.M.L.) qui est toujours très intéressée par les travaux du C.C.U., les recommandations de ce Comité Consultatif étant appelées à avoir des répercussions dans la législation des États où le SI a force de loi. Mr *Terrien* propose qu'un accord soit signé entre le B.I.P.M. et l'O.I.M.L., du type de ceux qui existent entre le B.I.P.M. et l'A.I.E.A. ou entre le B.I.P.M. et l'EURATOM. Cet accord pourrait être conclu par un échange de lettres entre les directeurs des deux organisations. L'ensemble du Comité donne son approbation à cette proposition.

Président: J. de Boer, Instituut voor Theoretische Fysika, Amsterdam.

Membres:

- Comité des Normes, des Mesures et Instruments de Mesure, Moscou.
- Commission Électrotechnique Internationale (Comités d'Études N^{os} 24 et 25).
- Commission Internationale de l'Éclairage.
- Conseil National de Recherches, Ottawa.
- International Commission on Radiation Units and Measurements.
- National Bureau of Standards, Washington.

National Physical Laboratory, Teddington.
National Research Laboratory of Metrology, Tokyo.
Organisation Internationale de Normalisation (I.S.O.) (Comité Technique 12).
Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.
Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée (Commission S.T.U.).
Union Internationale de Physique Pure et Appliquée (Commission S.U.N.).
P. Honti, Office National des Mesures, Budapest.
J. Stulla-Götz, Vienne.
L. Villena, Instituto de Optica Daza Valdes, Madrid.
Le Directeur du Bureau International des Poids et Mesures.

Les prochaines réunions prévues des Comités Consultatifs sont les suivantes :

C.C.E.M.R.I., Section I (Rayons X et γ) : avril 1970.
C.C.D.S. : juin 1970.
C.C.D.M. : septembre 1970.
C.C.T. : juillet 1971.
C.C.P. : septembre 1971.
C.C.U. : 1971.

8. Rapport du directeur et travaux du Bureau International

Mr *Terrien* présente son rapport (p. 33) dont un exemplaire a été envoyé aux membres du Comité en août 1969; un complément de mise à jour avait été distribué au début de la session.

Par suite du manque de temps, seuls MM. Giacomo et Rytz donnent, au nom du personnel supérieur du Bureau invité à la séance, les grandes lignes des travaux en cours dans les sections classiques et des radiations ionisantes. La mesure absolue de g approche de sa fin; A. Sakuma, qui a mené à bien cet important travail, espère terminer bientôt l'étude des erreurs systématiques.

Au cours d'une visite des laboratoires, les membres du Comité ont pu obtenir des explications complémentaires sur les travaux actuellement poursuivis au Bureau.

9. Programme futur du Bureau International

Le *Président* rappelle que le Bureau International doit poursuivre des recherches de premier ordre, pour attirer de jeunes physiciens, mais que son budget est relativement modeste comparé à celui des grands laboratoires nationaux. Aussi faut-il choisir avec soin les domaines dans lesquels le Bureau peut s'engager pour faire des recherches avancées, car le niveau des travaux qu'il effectue doit toujours être le meilleur.

Mr *Terrien* indique que A. Sakuma, considérant l'achèvement prochain de ses travaux sur la mesure de l'accélération due à la pesanteur, a suggéré d'entreprendre une mesure de la vitesse de la lumière, mesure à laquelle il s'est déjà intéressé par les travaux entrepris dans d'autres laboratoires.

Mr *Terrien* souhaiterait adjoindre à A. Sakuma un physicien d'un autre laboratoire. Il insiste sur son désir de favoriser le séjour à Sèvres de physiciens venant de laboratoires nationaux par exemple, comme a pu le faire dans le passé A. A. Michelson.

Il semble d'autre part indispensable de diriger des recherches sur la stabilisation de la longueur d'onde d'un laser à l'aide de raies d'absorption moléculaires. La méthode présente l'avantage d'éliminer l'élargissement par effet Doppler. Dans plusieurs laboratoires on a déjà essayé de produire un étalon de longueur d'onde par ce procédé. Cette technique doit être expérimentée au Bureau International.

Enfin un troisième sujet d'étude retient l'attention du Comité International; c'est le contrôle des étalons de force électromotrice par référence à des échelons de potentiel définis par l'effet Josephson en présence d'un champ électromagnétique de fréquence connue.

Le choix de ces trois sujets d'étude est approuvé par l'ensemble du Comité.

10. Visite du Dépôt des Prototypes métriques

Procès-Verbal

Le 8 octobre 1969, à 17 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 M. Le Moël 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	21,0 °C
— maximale	22,5
— minimale	19,0
État hygrométrique	80 %

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

Le Directeur
du Bureau
J. TERRIEN

Le Conservateur
des Archives de France
M. LE MOËL

Le Président
du Comité
J. M. OTERO

11. Commission Administrative

Mr *Terrien* donne un compte rendu verbal des délibérations de la Commission Administrative qui s'est réunie le 9 octobre 1969 à 9 h 30. Tous les membres présents à cette session du Comité assistaient aux travaux de la Commission, sauf le président du Comité empêché.

La Commission a examiné les sept points suivants:

1. *Rapport du Directeur.* — Personnel: V. Naggiar, physicien chercheur principal chargé des mesures neutroniques, a demandé à faire valoir ses droits à la retraite; il sera remplacé par un physicien (V. D. Huynh) qui travaille comme stagiaire au Bureau

depuis quelques années. Un technicien principal (R. Czerwonka) a notifié sa décision de quitter le Bureau International pour occuper un emploi mieux rémunéré dans une société privée d'informatique.

2. *Caisse de Retraites.* — Ainsi qu'il en avait été décidé en 1968, une étude de la situation financière de la Caisse de Retraites a été demandée à un actuaire. Cette étude montre que la partie des recettes de la Caisse à prélever sur le budget général peut être maintenue dans l'immédiat à environ 10 % du montant des traitements du personnel, mais qu'elle devra être augmentée dans l'avenir.

Le cas particulier d'un fonctionnaire employé à mi-temps est laissé à la décision du bureau du Comité avec les conseils de l'actuaire.

3. *Exercice 1968.* — Après examen du rapport de l'expert-comptable pour cet exercice, la Commission recommande que le Comité approuve les comptes pour 1968 et donne quitus au directeur et à l'administrateur.

4. *Traitements du personnel; allocations familiales.* — La Commission donne son accord aux propositions du directeur concernant l'avancement de quelques membres du personnel supérieur ayant la qualité d'adjoints. Elle a discuté dans un esprit favorable un relèvement d'ensemble de la grille des traitements de base en points-or, mais elle est d'avis que la décision devrait être laissée au bureau du Comité lorsqu'il aura pu étudier plus à fond la documentation justificative tirée principalement d'un rapport élaboré par l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques.

Des allocations familiales sont accordées jusqu'à l'âge de 20 ans en vertu de règles antérieures (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 24, 1954, p. 67), en particulier dans le cas d'enfants poursuivant leurs études; la Commission recommande de porter cette limite d'âge à 21 ans.

5. *Budget 1970.* — Un projet de budget pour l'année 1970 est proposé au Comité par la Commission.

6. *Monnaies nationales non convertibles.* — Deux États seulement, dont la monnaie n'est pas convertible, ont jusqu'à présent usé de la faculté de payer 4,5 % de leur contribution pour 1969 en leur monnaie; les autres n'ont pas encore payé, ou ont payé la totalité de leur contribution en monnaie convertible.

7. *Dotation à demander à la 14^e Conférence Générale des Poids et Mesures pour les quatre années 1973-1976.* — Il semble certain que, même sans extension des activités, les dotations financières du Bureau International devraient s'accroître de 14 % chaque année pour que son niveau scientifique ne reste pas en retard par rapport aux progrès rapides de la métrologie. Le Comité International devrait, dès sa session d'octobre 1970, être en possession du programme détaillé et du budget des années 1973-1976, afin qu'il soit diffusé un an à l'avance sous sa forme définitivement approuvée par le Comité. Il faudra de plus rédiger un programme abrégé de quelques pages, de lecture facile, et traduit en plusieurs langues.

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 1968; il donne pouvoir à son bureau pour décider sur la proposition du relèvement de la grille des traitements, et il adopte le budget pour 1970.

Budget pour 1970

RECETTES	francs-or
Contributions des États	2 290 000
Intérêts des fonds	28 000
Taxes de vérification	8 000
Remboursements des taxes sur les achats	100 000
Total	<u>2 426 000</u>

DÉPENSES

		francs-or
<i>A. Dépenses de personnel :</i>		
1. Traitements	1 060 000	} 1 288 000
2. Allocations familiales	60 000	
3. Sécurité Sociale	52 000	
4. Assurance-accidents	10 000	
5. Caisse de Retraites	106 000	
<i>B. Dépenses de fonctionnement :</i>		
1. Bâtiments (entretien)	160 000	} 617 000
2. Mobilier	4 500	
3. Laboratoires et ateliers	270 000	
4. Chauffage, eau, énergie électrique	75 000	
5. Assurances	5 000	
6. Impressions et publications	32 000	
7. Frais de bureau	35 000	
8. Voyages	24 000	
9. Bureau du Comité	11 500	
<i>C. Dépenses d'investissement :</i>		
1. Laboratoires	290 000	} 337 000
2. Atelier de mécanique	20 000	
3. Atelier d'électronique	11 000	
4. Bibliothèque	16 000	
<i>D. Frais divers et imprévus</i>		114 000
<i>E. Utilisation de monnaies non convertibles</i>		70 000
Total		<u>2 426 000</u>

**12. Préparation de la 14^e Conférence Générale
des Poids et Mesures (1971)**

A la suite d'une demande présentée en octobre 1968 par la Suisse, qui avait alors en vue les questions de définitions des unités, il est proposé que les documents de travail pour la Conférence Générale soient adressés aux Gouvernements 1 à 2 ans avant la date de la Conférence pour une consultation préalable par correspondance. C'est nécessairement le bureau du Comité qui devra prendre l'initiative de cette consultation.

Avec la proximité de la Conférence Générale en particulier, il apparaît à plusieurs membres du Comité qu'il pourrait être nécessaire que le Comité International se réunisse plus d'une fois par an. On pourrait éventuellement envisager que le Comité tienne quelques sessions ailleurs qu'à Sèvres, mais la réunion du mois d'octobre devrait toujours se tenir au Pavillon de Breteuil, car le devoir essentiel du Comité est de diriger et surveiller le fonctionnement du Bureau International.

13. Metrologia

Mr *Preston-Thomas*, nouveau rédacteur en chef de la revue *Metrologia* à la suite de la démission de Mr Howlett, expose ses préoccupations. Pour les premiers numéros il a fallu solliciter les articles auprès des auteurs, mais on pensait que par la suite les auteurs proposeraient des

articles de façon spontanée. Or il n'en est rien. Cette situation semble due au fait que les communications importantes sont publiées dans les revues ou journaux édités par certains grands laboratoires. Il faudrait demander aux directeurs de ces laboratoires de publier dans *Metrologia* les articles portant sur des recherches originales ou des travaux importants.

Plusieurs membres du Comité souhaiteraient trouver dans ce journal des informations sur les progrès dans les différents domaines des mesures fondamentales, au moins à la façon dont on y trouve les « News from the B.I.P.M. », à défaut d'y voir figurer les publications originales détaillées.

14. Questions diverses

Conférence de Gaithersburg. — Le N.B.S. organise en 1970 à Gaithersburg (États-Unis) une réunion sur les mesures de précision et les constantes fondamentales. Le Comité International a été d'accord pour que cette réunion soit patronnée par le Bureau International. En effet, il semble probable que de plus en plus on obtiendra une plus grande stabilité des étalons si on les cherche dans les constantes atomiques. Ainsi métrologie et constantes fondamentales se rejoignent. Le bureau du Comité International avait demandé au N.B.S. de choisir une date qui permette de connaître les enseignements de la Conférence de Gaithersburg avant la session de 1970 du Comité International. Cette Conférence se tiendra donc du 3 au 7 août 1970 et le Comité estime nécessaire que deux physiciens du Bureau y assistent.

Participation du B.I.P.M. à diverses réunions internationales. — Mr Terrien rappelle que le B.I.P.M. entretient des relations étroites avec diverses organisations internationales, parmi lesquelles l'U.I.P.P.A. (en particulier la Commission S.U.N. et la Commission des masses atomiques et constantes physiques associées), l'U.I.C.P.A. (Commission des Symboles physicochimiques, Terminologie et Unités, Commission des mesures et étalons physicochimiques), l'U.R.S.I., la C.I.E., la C.E.I., l'U.G.G.I., l'I.S.O., l'U.A.I.

Le *Président* rend compte de sa participation, avec MM. Kersten et Giacomo, aux manifestations à Leningrad en l'honneur du 75^e anniversaire de l'Institut de Métrologie D. I. Mendéléev et du 50^e anniversaire de l'introduction du Système Métrique en U.R.S.S. Il rend en particulier hommage à l'hospitalité des Soviétiques.

Mr Terrien et plusieurs de ses collaborateurs ont fait des visites en divers pays; Mr Allisy est actuellement au Japon où il rendra visite, au nom du B.I.P.M., à Mr Tomonaga et à divers laboratoires.

Mètre international. — En réponse à une demande de Mr Terrien, le Comité autorise que le Prototype international du mètre (1889) soit extrait du Caveau, le moment venu, pour être mesuré directement en longueurs d'onde du krypton 86 dans le comparateur photoélectrique dont le fonctionnement est maintenant bien éprouvé.

Définition de l'ampère. — Mr *Sandoval Vallarta* suggère que le Comité Consultatif d'Électricité examine la possibilité d'une nouvelle définition de l'unité SI d'intensité de courant électrique.

Centenaire de la Convention du Mètre. — Au sujet de cette question déjà évoquée à la précédente session, Mr *Honti* souhaiterait que le Comité précise ses intentions pour la célébration de cet anniversaire en 1975. Cet événement important doit en effet être marqué avec un éclat particulier.

Mr *Terrien* estime que l'Académie des Sciences de Paris souhaitera être associée à cette commémoration. Le Ministère des Affaires Étrangères de France, dépositaire de la Convention du Mètre, devrait également être invité à participer à la manifestation.

Une commission pourrait être chargée d'étudier les moyens de donner à cette commémoration l'éclat international souhaitable, et cette question devra être portée à l'ordre du jour de la prochaine session du Comité International et de la 14^e Conférence Générale.

Honorariat. — Le *Président* propose la nomination de Mr G. D. Bourdoun comme membre honoraire du Comité. Il rappelle que Mr Bourdoun, membre du Comité International de 1954 à 1966, a été pendant huit ans président du Comité Consultatif d'Électricité dont il a dirigé les débats avec une grande compétence; il fut aussi président de la Commission des Unités, devenue par la suite Comité Consultatif des Unités. Cette proposition est adoptée à l'unanimité.

Prochaines sessions. — La 59^e session du Comité International s'ouvrira mardi 6 octobre 1970. La 60^e session s'ouvrira le jeudi 30 septembre 1971, la 14^e Conférence Générale des Poids et Mesures se réunissant à partir du 4 octobre 1971.

* * *

Au moment de clore la session, le *Président* remercie ses collègues et le directeur du Bureau pour leur participation aux travaux de cette réunion.

**Recommandation adoptée par le Comité International
à sa 58^e session (Octobre 1969)**

Système International d'Unités : modalités d'application de la Résolution 12 de la 11^e Conférence Générale (1960)

RECOMMANDATION 1 (1969) *

Le Comité International des Poids et Mesures,

CONSIDÉRANT que la Résolution 12 de la Onzième Conférence Générale des Poids et Mesures (1960) concernant le Système International d'Unités, a suscité des discussions sur certaines dénominations,

* Cette Recommandation remplace la Recommandation 1 qui fut adoptée par le C.I.P.M. en 1967, mais dont la publication a été arrêtée par décision du Comité International en 1968 pour nouvel examen.

DÉCLARE

1° les unités de base, les unités supplémentaires et les unités dérivées du *Système International d'Unités*, qui forment un ensemble cohérent, sont désignées sous le nom d'« unités SI »;

2° les préfixes adoptés par la *Conférence Générale pour la formation des multiples et sous-multiples décimaux des unités SI* sont appelés « préfixes SI »;

et RECOMMANDE

3° d'employer les unités SI et leurs multiples et sous-multiples décimaux dont les noms sont formés au moyen des préfixes SI.

Note. — L'appellation « unités supplémentaires », figurant dans la *Résolution 12 de la Onzième Conférence Générale des Poids et Mesures* (et dans la présente *Recommandation*), est donnée aux unités SI pour lesquelles la *Conférence Générale* ne décide pas s'il s'agit d'unités de base ou bien d'unités dérivées.

RAPPORT DU DIRECTEUR

SUR L'ACTIVITÉ ET LA GESTION DU BUREAU INTERNATIONAL

(1^{er} octobre 1968 — 1^{er} octobre 1969)

I. — PERSONNEL

Remarques générales

Le seul changement important dans le personnel scientifique est le départ en retraite d'un physicien. L'effectif du personnel payé par le Bureau International reste voisin de la cinquantaine.

Les recrutements à envisager sont étroitement limités par les disponibilités financières; le choix est donc important; il dépendra du programme de travail et de recherche qui sera approuvé par le Comité International.

Départ

V. NAGGIAR, physicien chercheur principal, responsable depuis le 1^{er} avril 1961 du groupe des mesures neutroniques de la Section des radiations ionisantes, a pris sa retraite le 1^{er} juin 1969.

II. — BÂTIMENTS

Observatoire

Dans le but d'accroître la puissance électrique disponible dans les laboratoires, on a mis en service la tension 380/220 volts en remplacement de la tension 220/110 volts. Un câble d'alimentation reliant le poste de transformation à l'Observatoire a été placé dans une galerie technique traversant la cour; cette galerie permettra la surveillance du câble et la pose ultérieure d'autres canalisations. Les armoires et coffrets de distribution du courant électrique dans l'Observatoire ont été adaptés à la nouvelle tension.

L'emplacement d'une ancienne chaufferie en sous-sol, dégagé en 1966, a été aménagé pour recevoir les appareils de détermination de la densité de l'eau par la méthode du plongeur.

On a repeint la cage de l'escalier conduisant aux bureaux du premier étage, et le couloir les desservant.

Petit Pavillon

Une véranda a été construite contre la façade de l'atelier de mécanique; cette véranda fournit un espace de rangement de 40 m².

Dans le logement du gardien principal, le plafond mansardé d'une chambre au premier étage a été refait et la pièce a été remise en état.

Services généraux et dépendances

Trois nouvelles lignes téléphoniques, rendues nécessaires pour assurer l'écoulement normal des communications, relient le Pavillon de Breteuil au réseau extérieur; cinq lignes sont maintenant en service.

Le Service des Eaux de Versailles et Marly assure désormais l'alimentation en eau du Pavillon de Breteuil par une canalisation d'un diamètre de 162 mm, en remplacement de l'ancienne canalisation de 80 mm devenue hors d'usage. Cette canalisation de 162 mm servait autrefois à l'amenée d'eau d'étang dans le bas du Parc de Saint-Cloud; elle a été nettoyée et désinfectée et elle procure au Bureau International une pression d'eau plus régulière.

La couverture du bâtiment à usage de garages a été refaite en feuilles d'aluminium ondulées.

III. — INSTRUMENTS ET TRAVAUX

Remarques générales

Parmi les résultats saillants obtenus dans les laboratoires du Bureau International au cours de l'année, on peut citer les suivants :

— La mesure absolue de g , accélération due à la pesanteur, peut se faire maintenant à tout moment, ou presque, sans attendre une période exceptionnelle dépourvue de mouvements sismiques, et la précision d'environ 10^{-8} en valeur relative est assurée. La valeur de g mesurée est la même en 1969 qu'en 1967 et 1968.

— Le comparateur interférentiel à microscopes photoélectriques pour la mesure des étalons de longueur jusqu'à 1 m a été muni d'un dispositif de comptage des franges d'interférence utilisant la radiation 632,8 nm d'un laser stabilisé He-Ne. Ce dispositif donne toute satisfaction; il permet des mesures de longueur rapides, dont les résultats peuvent être contrôlés immédiatement avec la radiation étalon du krypton 86.

— Les qualités des radiations optiques dans le proche infrarouge (λ de l'ordre de 0,8 à 1 μm) émises par une lampe à krypton 86 ont été étudiées en vue de leur emploi comme étalons secondaires de longueur. Plusieurs de ces radiations ont des qualités équivalentes à celles de la radiation étalon, avec l'avantage supplémentaire d'une visibilité bien supérieure aux grandes différences de marche, 1 m par exemple.

— Le spectromètre magnétique pour la mesure absolue de l'énergie des particules α est achevé. On étudie la façon de préparer les sources émettrices de ces particules, car la qualité de ces sources est maintenant le facteur déterminant de la précision des mesures d'énergie.

— La 5^e comparaison des étalons nationaux d'intensité et de flux lumineux, commencée en août 1968, est achevée.

D'autres résultats sont exposés dans la suite de ce rapport.

Enfin, un aspect important de l'activité du Bureau International n'apparaît que très succinctement dans la liste des voyages. Il s'agit de la participation du personnel du Bureau aux réunions internationales et des visites dans divers pays, le plus souvent avec un ou plusieurs exposés publiés fai-

sant connaître l'activité du Comité International et du Bureau International (voir p. 99).

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 signifie que cette personne ne fait pas partie du personnel du Bureau International : physiciens ayant effectué un stage au Bureau, membres du groupe de recherche de dosimétrie (Paris) qui travaillent au Bureau International conformément à l'arrangement conclu avec le Ministère français des Affaires Sociales (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 32, 1964, p. 14).

Longueurs

Comparateur photoélectrique et interférentiel; comptage de franges (P. Giacomo, J. Hamon, J. Hostache, P. Carré)

La Société Genevoise d'Instruments de Physique a procédé, en mars et avril 1969, à une révision de l'électronique et des microscopes de notre comparateur photoélectrique.

Les essais préliminaires ayant montré que les mesures par comptage de franges d'interférence présentaient de sérieuses garanties de sécurité, une installation de comptage a été ajoutée, dès le début du mois de mai, à l'interféromètre du comparateur. Cette installation conduit à une amélioration importante de la rapidité des mesures sans nuire à leur précision. Nous pensons utile d'en donner ici une description assez complète.

Source. — Pour conserver, même aux différences de marche de l'ordre de 1 mètre, un rapport signal/bruit élevé, on doit utiliser une source monochromatique intense donnant encore à ces distances une excellente visibilité des interférences. Nous utilisons un laser He-Ne monomode stabilisé (Spectra-Physics, modèle 119). Sa longueur d'onde a été vérifiée et le sera périodiquement; on peut admettre actuellement $\lambda_{\text{vide}} = 0,632\ 991\ 409\ \mu\text{m}$ (voir plus loin figure 7). Bien que notre projet initial ait été d'utiliser le comptage seulement pour déterminer la partie entière de l'ordre d'interférence, il est apparu, au cours des essais, que la méthode permettait facilement une mesure plus précise. La valeur exacte de la longueur d'onde a dès lors une importance majeure.

Interféromètre. — On ne peut espérer conserver, au cours de la translation à mesurer, le parallélisme rigoureux des miroirs plans d'un interféromètre de Michelson. On doit donc utiliser un interféromètre « indéréglable ». Les premiers essais avaient été effectués avec un interféromètre de Michelson à miroirs plans fixes, dont un faisceau était coudé par réflexion sur un miroir trièdre trirectangle mobile (solution analogue à celle qui est utilisée pour la mesure de g). Malheureusement, ce dispositif renvoie vers la source un faisceau dont la modulation, au cours du déplacement, perturbe l'asservissement du laser. On a donc abandonné ce schéma au profit d'un interféromètre à deux trièdres, l'un fixe, l'autre mobile, fournissant deux faisceaux de sortie séparés du faisceau d'entrée (voir plus loin figure 3). Cet interféromètre conserve aussi le parallélisme des plans d'onde pendant les déplacements, mais les effets d'inclinaison des faisceaux y sont un peu plus complexes; ils font intervenir, en particulier, le défaut d'alignement des sommets des trièdres avec la direction d'observation.

On désire mesurer, avec son signe, la translation du trièdre mobile en

comptant les franges que cette translation fait défiler en un ou plusieurs points du champ d'interférences; on doit donc pouvoir compter positivement lorsque les franges défilent dans un sens et négativement lorsqu'elles défilent en sens inverse.

Diverses solutions ont été proposées pour fournir à deux récepteurs photo-électriques les deux signaux de défilement des franges, sinusoïdaux en fonction de la différence de marche et décalés entre eux d'un quart de période, nécessaires pour ce comptage réversible. Plusieurs avantages nous ont fait préférer la méthode suivante.

La section droite, circulaire, du faisceau qui traverse l'interféromètre est divisée en quatre quadrants éclairant chacun un récepteur (voir plus loin figure 3). Sur un des miroirs du trièdre fixe, on a déposé des épaisseurs échelonnées telles que les différences de marche dans les quadrants adjacents successifs soient $D, D + \lambda/4, D + \lambda/2, D + 3\lambda/4$. Ainsi, les signaux recueillis dans deux quadrants adjacents sont en quadrature, et dans deux quadrants opposés par le sommet ils sont en opposition de phase. En groupant chaque paire de récepteurs opposés dans un montage différentiel, on élimine la composante continue de l'éclairement, et on dispose des deux signaux en quadrature nécessaires; de plus, le déphasage entre les signaux différentiels ainsi recueillis reste constant même si le parallélisme des plans d'ondes des deux faisceaux interférents n'est pas strictement conservé au cours du déplacement, en raison des imperfections du trièdre mobile.

Récepteurs. — On utilise quatre photodiodes au silicium (Siemens, type BPY 11), montées en rosette (voir plus loin figure 3); elles sont disposées directement sur l'un des faisceaux sortant de l'interféromètre, sans optique intermédiaire, chacune dans un des quadrants. Ces récepteurs permettraient de compter jusqu'à des fréquences de l'ordre de 1 MHz.

Amplification. — On forme la différence entre les signaux des récepteurs opposés à l'aide de deux amplificateurs différentiels. Au préalable, les différences éventuelles de sensibilité ou d'éclairement des récepteurs sont compensées à l'aide de quatre amplificateurs dont le gain est ajustable séparément. La vitesse maximale de déplacement du chariot porte-règle dans le comparateur correspond à une variation de l'ordre d'interférence de 2×10^4 par seconde environ. Afin d'éviter toute surprise pouvant provenir des vibrations ou des irrégularités de l'entraînement du chariot, on s'est fixé pour les amplificateurs une bande passante de 0 à plus de 200 kHz.

Mise en forme des signaux. — On transforme ensuite les deux signaux sinusoïdaux, en quadrature et à niveau moyen nul, en signaux carrés, toujours déphasés entre eux d'un quart de période. Chaque signal carré prend la valeur logique zéro (0 V) ou la valeur logique 1 (5 V, tension nécessaire pour commander les éléments logiques suivants) selon le signe du signal sinusoïdal correspondant. En fait, un certain seuil est nécessaire pour assurer le basculement de l'élément de mise en forme, mais ce seuil est choisi très faible devant l'amplitude du signal sinusoïdal.

Nous appellerons dans la suite A et B les deux fonctions logiques ainsi élaborées.

Logique de comptage. — Les valeurs prises par les fonctions A et B sont liées à la différence de marche. Chaque fois que celle-ci varie de manière

continue d'un nombre entier n de longueurs d'onde, un dispositif que nous appelons « logique de comptage » doit fournir, à partir de A et B , une succession de signaux $S = +1$ et $S' = -1$ tels que leur somme algébrique soit égale à n dans tous les cas. S et S' sont totalisés par un compteur réversible.

Nous nous sommes efforcés d'obtenir ce résultat dans les conditions les plus sévères : intensité lumineuse de la source et visibilité des franges pouvant varier, par exemple dans le rapport 1 à 10, bruit photoélectrique, vibrations, parasites électriques. Ces conditions nous ont fait rejeter certaines solutions, comme l'utilisation de seuils à la mise en forme ou la production d'impulsions par dérivation de A ou B par rapport au temps.

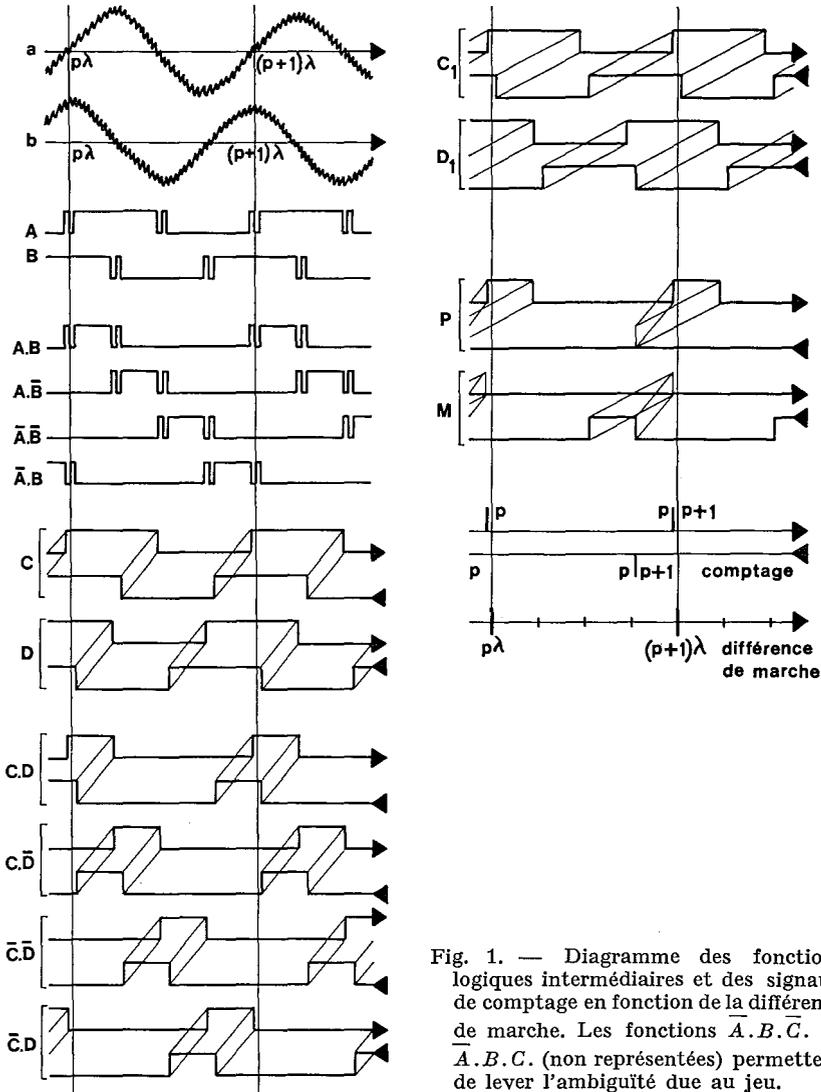


Fig. 1. — Diagramme des fonctions logiques intermédiaires et des signaux de comptage en fonction de la différence de marche. Les fonctions $A.B.C.$ et $\bar{A}.\bar{B}.\bar{C}.$ (non représentées) permettent de lever l'ambiguïté due au jeu.

La logique que nous employons utilise exclusivement des opérations logiques « non et » et élabore, à partir de A et B , les fonctions logiques P et M auxquelles on associe les signaux de comptage $S = +1$ lorsque P prend la valeur 1, et $S' = -1$ lorsque M prend la valeur 1.

La succession des opérations logiques est schématisée figure 1, où l'abscisse D est la différence de marche dans l'interféromètre. Les opérations logiques effectuées comportant des mises en mémoire, les valeurs des fonctions logiques intermédiaires C, D , etc. diffèrent en général selon le sens de déplacement. On a, pour chacune d'elles, tracé deux diagrammes, un pour chaque sens de déplacement (indiqué par une flèche). Lorsqu'on inverse le sens de déplacement, à partir d'une position quelconque, ces fonctions conservent leur valeur, toujours par effet de mémoire, jusqu'à ce qu'une valeur différente leur soit imposée. Il y a ainsi correspondance entre les régions à l'intérieur desquelles l'une de ces fonctions prend la valeur 1 (ou 0) pour un déplacement dans le sens positif et pour un déplacement dans le sens contraire. Cette correspondance est indiquée par les lignes de rappel obliques.

Les opérations logiques effectuées peuvent être symbolisées, en algèbre de Boole, par les relations suivantes :

$$\begin{aligned} C &= (A \cdot B) + C \cdot (A + B) \\ D &= (\bar{A} \cdot B) + D \cdot (\bar{A} + B) \\ C_1 &= (C \cdot D) + C_1 \cdot (C + D) \\ D_1 &= (\bar{C} \cdot D) + D_1 \cdot (\bar{C} + D) \\ P &= (C \cdot D) \cdot D_1 \\ M &= (\bar{C} \cdot D) \cdot C_1 \end{aligned}$$

On a figuré, symboliquement, pour les fonctions A et B , les basculements multiples que peut provoquer le bruit photoélectrique. Ces basculements multiples disparaissent, par effet de mémoire, au niveau des fonctions C et D .

Les vibrations provoquent des allers et retours, généralement de faible amplitude; elles pourraient entraîner des additions et soustractions à fréquence excessive si les transitions homologues de P et M (correspondant au comptage $p \rightarrow p + 1$ et $p + 1 \rightarrow p$) se produisaient à la même abscisse;

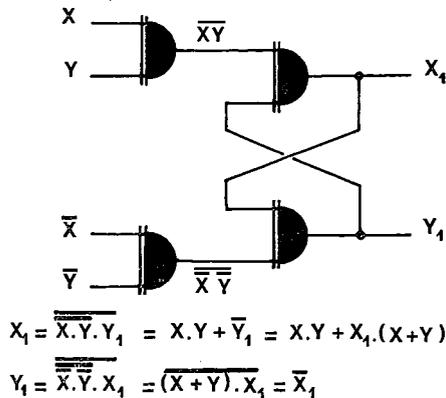


Fig. 2. — Élément bistable utilisé dans la logique de comptage.

c'est pourquoi on s'est arrangé pour avoir entre ces deux positions un « jeu » qui est ici d'un quart de période (un peu moins en présence de bruit photoélectrique). On notera qu'entre les transitions $1 \rightarrow 0$ de $\bar{C}.D$ (ou $C.D$) et les transitions $0 \rightarrow 1$ de C_1 (ou D_1), il existe toujours le délai nécessaire au « calcul » de cette dernière fonction; ce délai, très inférieur à une microseconde, est néanmoins suffisant pour exclure tout signal anormal sur M (ou sur P) lorsqu'on se déplace vers les D croissants (ou décroissants).

Les opérations logiques s'effectuent essentiellement à l'aide de quatre ensembles identiques dont le schéma est donné figure 2. En tout, y compris les opérations annexes (changements de signe $A \rightarrow \bar{A}$ par exemple) la logique utilise 32 circuits « non et » à deux entrées et deux circuits « non et » à quatre entrées.

Dispositifs annexes. — Outre le compteur réversible, qui totalise les impulsions S et S' , l'installation comprend un oscilloscope, fort utile pour les réglages et la surveillance permanente du fonctionnement. On l'emploie habituellement pour former une figure de Lissajous en appliquant respectivement suivant Ox et Oy les deux signaux sinusoïdaux (en quadrature) prélevés à la sortie des deux amplificateurs différentiels. On applique en outre à la borne de modulation de l'intensité du spot le signal $[(A.B) + (\bar{A}.\bar{B})]$.

Lorsque la différence de marche varie, le spot doit décrire un cercle, à raison d'un tour par longueur d'onde, et son intensité doit être alternativement renforcée dans les 1^{er} et 3^e quadrants et atténuée dans les 2^e et 4^e. On met ainsi en évidence, sur l'oscilloscope, les défauts d'équilibrage des quatre récepteurs ou de fonctionnement de la mise en forme.

On dispose également de voyants lumineux, commandés respectivement par $A.B$, $A.\bar{B}$, $\bar{A}.\bar{B}$, $\bar{A}.B$, qui permettent plus simplement de repérer, sur l'échelle des différences de marche D , le quart de longueur d'onde. En raison du jeu, lorsque $\bar{A}.B = 1$, le total n affiché au compteur est ambigu; on lève cette ambiguïté en utilisant deux voyants: l'un s'allume pour $\bar{A}.B.C = 1$, on doit alors lire $(n - \frac{1}{4})\lambda < D < n\lambda$; l'autre s'allume pour $\bar{A}.B.\bar{C} = 1$, on doit alors lire $(n + \frac{3}{4})\lambda < D < (n + 1)\lambda$.

Adaptation sur le comparateur. — La décision d'adapter le comparateur photoélectrique et interférentiel à la méthode de comptage de franges a été prise aux deux conditions suivantes: que les modifications irréversibles soient minimales et qu'aucune des possibilités existantes de l'appareil ne soit supprimée.

L'optique de l'interféromètre de Michelson du comparateur admet un faisceau cylindrique de 60 mm de diamètre. Comme on n'utilise jamais en fait toute cette ouverture, le diamètre des miroirs plans terminaux a été réduit à 40 mm; on a placé derrière chacun d'eux un trièdre dont la partie utile reçoit, dans la zone périphérique libérée, un faisceau laser d'un diamètre maximal de 10 mm; ce faisceau vient se couder derrière le miroir plan, par réflexions successives sur les trois faces du trièdre, et revient symétriquement, toujours dans la zone périphérique (fig. 3 a).

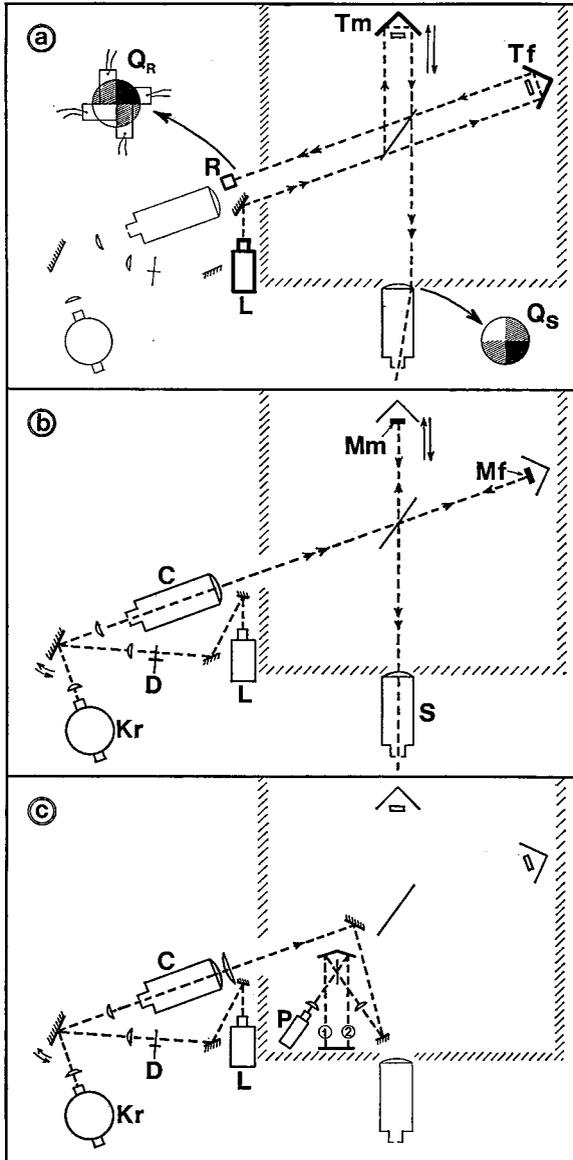


Fig. 3. — Schéma optique des trois dispositifs interférentiels utilisés dans le comparateur photoélectrique.

- a. Comptage de franges du laser.
 - b. Interféromètre de Michelson (lampe à krypton ou laser).
 - c. Réfractomètre (lampe à krypton ou laser). La chambre à vide, qui peut être placée sur le faisceau 1 ou sur le faisceau 2, n'est pas figurée.
- C, collimateur d'entrée; D, diffuseur rotatif; Kr, lampe à krypton 86; L, laser; Mf, miroir fixe; Mm, miroir mobile; P, photomultiplicateur du réfractomètre; Q_R, section droite du faisceau tombant sur les quatre photodiodes R; Q_S, section droite du faisceau observable à la sortie de l'interféromètre; R, ensemble des quatre photodiodes; S, lunette de sortie; Tf, trièdre fixe; Tm, trièdre mobile.

Les trièdres (Tm, Tf) sont montés sur des blocs en alliage d'aluminium, convenablement percés, comportant trois faces soigneusement usinées, perpendiculaires entre elles; un miroir plan est fixé par trois vis sur chacune de ces faces. L'orthogonalité des miroirs de chaque trièdre est ajustée à mieux qu'une frange près dans un montage interférentiel spécial. Le trièdre mobile Tm porte en son centre le miroir plan terminal de l'interféromètre de Michelson avec ses réglages (*fig. 4*). (Il a fallu naturellement modifier le contrepoids équilibrant cette masse fixée en bout de la règle.)

Ainsi les deux conditions ont été respectées : les modifications se limitent à trois perçages dans le bloc portant le miroir fixe et le trièdre fixe, et l'interféromètre est utilisable comme par le passé.

A l'extérieur du caisson il a fallu modifier l'optique existante. En effet, il est nécessaire de pouvoir passer rapidement de l'un à l'autre des trois modes de fonctionnement;

1° pour l'utilisation de l'interféromètre de Michelson : éclairage en lumière parallèle soit avec la lampe à krypton, soit avec la lumière diffusée du laser; sortie sur le photomultiplicateur habituel;

2° pour le comptage de franges : éclairage des trièdres avec le faisceau direct du laser agrandi à 10 mm de diamètre; sortie sur les quatre photodiodes;

3° pour la mesure de l'indice de réfraction de l'air : éclairage du réfractomètre soit avec la lampe à krypton 86, soit avec la lumière diffusée du laser; sortie sur le photomultiplicateur intérieur au caisson.

Le changement d'optique devait pouvoir s'effectuer sûrement et rapidement car chaque mesure comporte toutes ces opérations renouvelées plusieurs fois. La solution a été de grouper toutes les parties mobiles de l'optique sur un disque pouvant prendre trois positions bien définies et commandé électriquement. Notre atelier a parfaitement réussi cette pièce délicate qui exige une grande précision de repérage et une parfaite sûreté de manœuvre. On passe ainsi très facilement de l'un à l'autre des trois dispositifs schématisés figure 3 *a*, *b* et *c*.

Pour laisser entièrement dégagée la lunette de sortie de l'interféromètre et son appareillage de réglage et de pointage des interférences dans le Michelson, le laser (avec un miroir de renvoi) et les quatre photodiodes ont été disposés à l'entrée de l'interféromètre, de part et d'autre de l'axe optique principal (*fig. 3 a*).

Cette disposition a en outre l'avantage de permettre, à la sortie, l'observation des interférences dans les trièdres.

Réglages. — L'image du miroir plan fixe Mf est préalablement orientée perpendiculairement à la direction du déplacement du miroir plan mobile Mm.

Pour mesurer une règle, on fixe d'abord à l'une de ses extrémités la pièce portant le trièdre et le miroir plan mobiles (*fig. 4*). La règle est soigneusement mise en place sous l'un des microscopes photoélectriques, puis on ajuste Mm au parallélisme avec l'image de Mf (*fig. 3 b*). L'axe optique de la lunette de sortie S est rendu normal aux miroirs Mm et Mf par autocollimation.

L'interféromètre à deux trièdres est ensuite éclairé en lumière diffuse

et T_m est amené au voisinage du contact optique avec T_f ; on observe les interférences dans les trièdres à l'aide de la lunette S . On déplace alors latéralement T_f jusqu'à l'obtention du contraste maximal; ce réglage est nécessaire car, d'une règle à l'autre, T_f peut se trouver déplacé latéralement de quelques dixièmes de millimètres et il faut que les sommets optiques de T_m et T_f soient conjugués au mieux. Il semble que, visuellement, ce réglage se fasse avec une reproductibilité de l'ordre de 0,05 mm. A ce stade du réglage, si la teinte plate n'est pas parfaite, on peut améliorer le parallélisme des surfaces d'ondes en agissant finement sur l'un des miroirs de T_f .

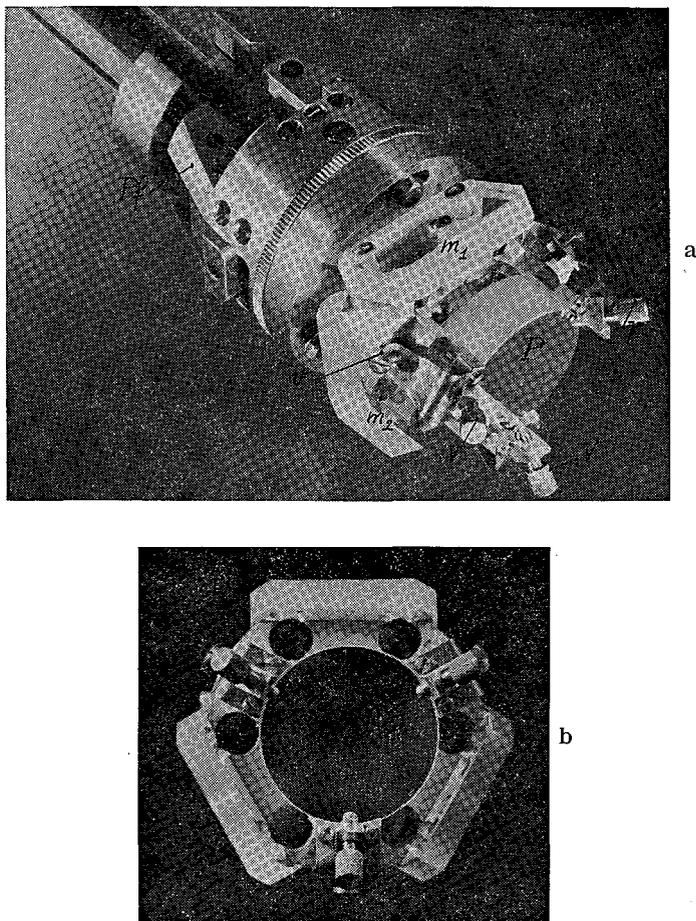


Fig. 4. — Miroir plan de l'interféromètre de Michelson et trièdre trirectangle mobiles.

a. L'ensemble fixé à l'extrémité d'une règle à section en X. On distingue les vis de réglage grossier (V) et de réglage fin (v) pour l'orientation du miroir plan (P), deux des miroirs (m_1 , m_2) constituant le trièdre, la pince de fixation (Pf) et l'extrémité de la règle (R).

b. Vue en bout. Entourant le miroir plan, trois paires d'orifices délimitent les faisceaux qui peuvent se réfléchir sur le trièdre. Une seule paire est utilisée pour le comptage de franges.

Il reste à aligner le faisceau laser direct en orientation et en position. L'orientation du faisceau est facilitée si l'on place un petit diaphragme au foyer de l'objectif de S; en effet, si l'orientation est correcte, le faisceau est parallèle à l'axe optique de S et ressort par le petit diaphragme. Le faisceau doit en outre se répartir également sur les quatre quadrants matérialisés par les épaisseurs échelonnées déposées sur l'un des miroirs de Tf; ces quadrants peuvent être observés soit en Q_s , soit en Q_R , sur un verre dépoli ou sur un écran. Par déplacement latéral fin du laser, on centre le faisceau sans modifier son orientation.

Lorsqu'on déplace le chariot porte-règle au maximum de sa course on doit observer dans S, en lumière diffuse du laser, le même contraste des interférences, sinon c'est que l'alignement de S a été détruit accidentellement; avec le faisceau direct du laser, si on observe une teinte moins plate, c'est que l'alignement du faisceau laser n'est pas correct.

Méthode de mesure. — On peut effectuer des mesures précises et rapides en utilisant seulement le dispositif de comptage de franges et un microscope photoélectrique; si l'on désire rapporter ces mesures directement à l'étalon primaire, on les complète à l'aide de l'interféromètre à miroirs plans.

a. Le dispositif de comptage de franges permet, avec précision, de faire effectuer à la règle en cours d'étude, munie du trièdre mobile T_m (*fig. 3 a* et *fig. 4*), des déplacements d'un nombre entier de demi-longueurs d'onde, correspondant à une variation entière de l'ordre d'interférence. Il suffit pour cela que le spot de l'oscilloscope fasse un nombre entier de tours au cours des déplacements (on peut également utiliser à cette fin les voyants lumineux d'affichage des quarts de frange).

Un des traits de la règle ayant été observé, dans une certaine position, sous le microscope, une translation de la règle de $p \frac{\lambda}{2}$ amène sous le même microscope un autre trait qui est observé dans une position généralement différente; l'écart ε entre ces deux positions est mesuré par le microscope et la distance entre les deux traits, rapportée à la longueur d'onde du laser, est alors $p \frac{\lambda}{2} + \varepsilon$.

b. Pour rapporter directement les mesures à une radiation étalon, notamment à l'étalon primaire, on complète les mesures précédentes par des mesures traditionnelles d'excédents fractionnaires à l'aide de l'interféromètre à miroirs plans (*fig. 3 b* et *fig. 4*). En utilisant le microscope photoélectrique, on pointe un trait (position 1), puis l'autre (position 2). L'interféromètre, éclairé avec la radiation étalon, fournit la partie fractionnaire des ordres d'interférence en position 1, puis en position 2, donc aussi la partie fractionnaire de la variation de l'ordre d'interférence correspondant au déplacement de la règle; la partie entière de la variation de l'ordre d'interférence est déduite de la mesure précédente (comptage de franges) qui donne une valeur suffisamment exacte de la distance entre les deux traits.

Résultats. — Pour mettre à l'épreuve la méthode et l'ensemble de l'appareillage, nous avons d'abord effectué neuf étalonnages des décimètres d'une règle de 1 mètre (règle en acier nickelé N° 12 924), cinq en position AB, quatre en position BA. Chaque étalonnage dure environ un quart d'heure.

Les écarts-types d'une mesure sont les suivants (en nanomètres):

Traits	100	200	300	400	500	600	700	800	900	Moyenne
AB	4	10	12	14	13	7	9	7	5	9
BA	13	13	10	7	8	3	5	3	3	7

Pour de telles mesures, l'emploi du comptage de franges tel que nous l'utilisons s'avère donc rapide, sûr et suffisamment précis.

Nous avons ensuite déterminé en valeur absolue la longueur de plusieurs règles de 1 m par les trois méthodes suivantes :

1° comptage de franges seul;

2° mesure par pointés dans l'interféromètre de Michelson des excédents fractionnaires aux deux positions extrêmes de la règle avec la radiation laser (faisceau diffusé);

3° même mesure avec la radiation étalon du krypton 86, en refroidissant la lampe à 58 K.

Les deux dernières méthodes ne donnent que la partie fractionnaire de l'ordre d'interférence.

Voici quelques résultats moyens obtenus à 20 °C :

Étalon	Comptage de franges	Michelson		
		Krypton 86	Laser	
Règles N ^{os}				
12 924	AB	1 m + 0,44 μm	+ 0,46 μm	
	AB*	1 m + 0,54	+ 0,54	+ 0,57 μm
	BA	1 m + 0,37	+ 0,44	
12 929	.....	1 m + 0,95	+ 0,94	+ 0,94
15 480	.....	1 m + 0,58	+ 0,55	+ 0,58
346	.....	1 m + 20,29	+ 20,28	+ 20,28
426	.....	1 m — 0,87	— 0,75	— 0,74
Prototype N° 2	.....	1 m + 172,34	+ 172,34	+ 172,31

* Les deux séries de mesures sur cette règle dans la position AB ont été faites avec le même microscope, mais avec un réglage différent de l'éclairage.

L'accord entre les trois méthodes est satisfaisant sauf pour la règle N° 426 qui a des traits très fins, peu adaptés aux pointés photoélectriques. Ces mêmes méthodes appliquées à une règlette de 200 mm ont donné des résultats remarquablement concordants :

Étalon	Comptage de franges	Michelson		
		Krypton 86	Laser	
Règlette 2 R	1 mm	— 1,392 μm	— 1,392 μm	— 1,392 μm
	200 mm	+ 27,836	+ 27,838	+ 27,838

Étalons à traits et à bouts (P. Carré, G. Leclerc, J. Hamon, F. Lesueur, R. Czerwonka)

Mètre prototype N° 2

A l'aide du comparateur normal à microscopes visuels nous avons redéterminé la longueur du Mètre prototype N° 2 (Suisse) par comparaison aux

prototypes en platine iridié du B.I.P.M. N° 19 et T 3. La longueur obtenue :

$$\text{N}^\circ 2 = 1 \text{ m} - 1,38 \mu\text{m} \text{ à } 0 \text{ }^\circ\text{C}$$

est en bon accord avec les résultats antérieurs :

$$1 \text{ m} - 1,28 \mu\text{m} \text{ en } 1882$$

$$1 \text{ m} - 1,41 \mu\text{m} \text{ en } 1920.$$

Ce prototype a également été mesuré au moyen du comparateur photoélectrique; ses traits anciens donnent un signal photoélectrique intense, mais nettement plus large et moins aigu que les tracés récents.

Les résultats, ramenés à 20 °C (E.I.P.T. 1968), sont néanmoins assez cohérents puisque les quatre mesures effectuées ont donné :

Position	Microscope		Moyenne
AB	Droit	1m + 172,24 μm }	1 m + 172,31 μm
BA	Droit	+ 172,37 }	
AB	Gauche	+ 172,36 }	+ 172,37
BA	Gauche	+ 172,37 }	
			<hr/> 1 m + 172,34 μm

Le résultat moyen, ramené à 0 °C à l'aide des coefficients précédemment admis pour cette règle, donne 1 m — 0,80 μm ; ce résultat diffère notablement de la valeur précédente obtenue au comparateur normal. Une partie de l'écart (0,2 à 0,3 μm) est due à la différence entre le mètre défini en 1960 et le mètre défini en 1889. Le complément est dû à la valeur admise pour les coefficients de dilatation qui ne sont pas exprimés dans l'E.I.P.T. de 1968, et à l'aspect des traits qui sont certainement interprétés de façon fort différente par les microscopes photoélectriques et par l'œil.

L'étude de ce prototype sera reprise lorsqu'il aura été retracé.

Étalons à traits

Étude d'un *Micromètre objectif* Zeiss gravé sur verre (Tchécoslovaquie) : détermination de la longueur totale et étalonnage des dixièmes de millimètre et des centièmes de millimètre du premier dixième de millimètre.

Au moyen du comparateur photoélectrique nous avons étudié les étalons suivants :

— Règle N° 426 de 1 m (Hongrie) : étalonnage des divisions décimétriques et équation.

— Règlette 2 R de 0,2 m en acier à 44 % Ni (B.I.P.M.) : étalonnage des dixièmes de millimètre d'un millimètre supplémentaire et des divisions 1, 2, 100 de l'intervalle principal 0-200 mm; équation du millimètre supplémentaire et de l'intervalle principal.

— Règle N° 12 929 de 1 m en acier nickelé (Société Genevoise d'Instruments de Physique) : coefficient de dilatation; équations de la division principale et d'un millimètre supplémentaire; étalonnage des millimètres des deux premiers décimètres, des centimètres des huit autres décimètres et des dixièmes de millimètre du millimètre supplémentaire.

— Règle N° 15 480 de 1 m en acier à 58 % Ni (République Arabe Unie) : coefficient de dilatation; équations de la division principale et des deux

millimètres supplémentaires; étalonnage des millimètres du premier et du dernier décimètres, des centimètres des huit autres décimètres et des dixièmes de millimètre des deux millimètres supplémentaires.

— Règle N° 346 de 1 m en invar (Tchécoslovaquie): équation à 20 °C.

Tous les étalonnages ont été effectués uniquement par comptage de franges; les équations ont été déterminées à l'interféromètre de Michelson, la partie entière des ordres d'interférence étant déterminée par comptage de franges.

Étalons à bouts

— Détermination, à la machine à mesurer, de la longueur à 20 °C de deux broches en silice fondue de 0,99 m, à extrémités plane et sphérique (Institut de Physique, Mexico).

— Mesures interférentielles de calibres divers; 13 pour le Laboratoire Central des Pays-Bas, deux pour la Société Johansson (Suède), un pour le Bureau Fédéral des Poids et Mesures (Suisse).

Base géodésique

Fils et rubans géodésiques (F. Lesueur, C. Garreau, G. Girard)

43 fils ou rubans de 4, 8, 20, 24, 25 m ont été étalonnés depuis le 1^{er} septembre 1968 pour l'Angola, l'Autriche, le Chili et la France.

Interférométrie

Radiations du krypton 86 dans l'infrarouge proche (R. Czerwonka ⁽¹⁾, J. Hamon)

Comme il a été indiqué dans le Rapport de 1968, p. 39, neuf radiations du krypton 86 de longueurs d'onde comprises entre 0,85 et 1,1 μm ont été étudiées en détail; elles avaient été préalablement sélectionnées comme étalons secondaires possibles, utilisables en interférométrie jusqu'à des différences de marche dépassant 1 m.

Ces radiations étaient produites par la lampe à krypton 86 classique de Engelhard, utilisée dans les conditions recommandées sauf pour l'étude des effets de température et de densité de courant. Leur étude a été faite à l'interféromètre de Michelson maintenu sous vide (salle 14); les quelques modifications nécessaires de l'appareillage annexe (optique de sortie à miroirs, photomultiplicateur à cathode Cs-Ag) ont déjà été décrites.

Les principaux résultats obtenus sont résumés ci-dessous; ils confirment l'intérêt métrologique des neuf radiations étudiées ⁽²⁾.

Mesure précise des longueurs d'onde. — Cette détermination a été faite par comparaison avec la radiation étalon primaire à la différence de marche $D_0 = 0,375$ m.

Les longueurs d'onde obtenues (moyennes de quatre mesures) sont rassemblées dans le tableau I; on a donné pour chacune d'elles, à titre d'information sur la reproductibilité des mesures, l'écart-type d'une mesure.

⁽¹⁾ Ce travail a fait l'objet d'un mémoire présenté par R. Czerwonka pour l'obtention du titre d'Ingénieur du Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris.

⁽²⁾ Voir l'article plus détaillé publié dans *Metrologia*, 6, n° 3, 1970, pp. 74-81.

TABLEAU I

Désignation	Transition (Paschen)	λ_{vide} (nm)	Écart-type d'une mesure (fm)	Différence de marche maximale pour $V \geq 0,03$ (m)	δ_1 (m^{-1})	δ_2 (m^{-1})	λ (63,15 K) $-\lambda$ (58,9 K) (fm)	Écart entre deux mesures à 58,9 K (fm)
K 1	$2p_8-4d_5$	869,987 598	3	1,15	0,78	0,09	+ 4	4
K 2	$2p_9-3s_1^{III}$	876,651 646	4	1,10	0,82	0,10	+ 11	4
K 3	$2p_8-3s_1^{III}$	898,043 867	1,5	1,30	0,79	0,05	+ 9	0
K 4	$2p_8-3s_1^I$	912,495 178	1,5	1,10	0,73	0,11	+ 10	12
K 5	$2p_6-4d_5$	936,465 109	3,5	1,20	0,77	0,07	+ 3	12
K 6	$2p_7-3s_1^{III}$	954,353 482	5	1,35	0,71	0,07	+ 14	0
K 7	$2p_7-3s_1^I$	970,690 363	3,5	1,30	0,74	0,05	+ 8	0
K 8	$2p_6-3s_1^I$	985,901 632	2	1,10	0,83	0,05	+ 6	8
K 9	$3d_1^I-5W$	1 059,589 554	2	1,25	0,67	0,25	+ 40	2

Les deux groupes de radiations correspondant aux transitions entre les niveaux successifs $2p_8-3s_1-2p_7-3s_1'''-2p_8$ et $2p_8-3s_1''-2p_6-4d_5-2p_8$ permettent une vérification de la cohérence des mesures par application du principe de combinaison de Ritz; les écarts ne dépassent pas ± 1 fm.

Étude des visibilitées. — Si l'on se fixe comme limite d'utilisation une visibilité $V \geq 0,03$, trois des radiations retenues (K 5, K 6, K 7, voir tableau I) sont encore utilisables à des différences de marche D de l'ordre de 1,3 m (K 3 et K 9, moins intenses, présentent moins d'intérêt). A titre de comparaison, on obtiendrait pour la radiation étalon une visibilité du même ordre vers $D = 0,8$ m.

Les variations de $\frac{\log V}{D}$ en fonction de D donnent des informations sur le profil spectral. Les courbes représentatives sont linéaires jusqu'au-delà de $D = 1$ m pour les neuf radiations. Le profil (supposé symétrique) peut donc être correctement représenté par la convolution d'un profil Doppler de largeur à mi-hauteur δ_1 et d'un profil Lorentz de largeur à mi-hauteur δ_2 . Les valeurs obtenues pour δ_1 et δ_2 sont données dans le tableau I.

Variation de la longueur d'onde en fonction de la température de la lampe. — La lampe étant refroidie en la plongeant dans un bain à 58,9 K (au lieu de 63,15 K, point triple de l'azote), on a repris les mesures de longueurs d'onde, toujours à la différence de marche $D_0 = 375$ mm.

Les différences entre les longueurs d'onde moyennes mesurées à 63,15 K et à 58,9 K (pour cette dernière température on a pris la valeur moyenne sur deux mesures) sont données au tableau I. On a également donné, à titre indicatif, l'écart entre les deux mesures à 58,9 K. Malgré la dispersion plus importante des mesures, due en particulier à la stabilité moins bonne de la température du bain et à l'intensité plus faible du rayonnement, les valeurs de $\lambda(58,9$ K) obéissent encore au principe de combinaison à $\pm 2,5$ fm près.

Sauf pour la radiation K 9, l'effet de la température du bain reste voisin de celui que l'on observe pour la radiation étalon (+ 7 fm lorsqu'on passe de 63,15 K à 58,9 K).

Symétrie des profils. — En prenant comme référence la radiation étalon et en comparant les ordres d'interférence aux diverses différences de marche, aucune dissymétrie notable des profils spectraux des radiations étudiées n'a pu être mise en évidence; la précision des mesures aurait juste permis de déceler un défaut de symétrie de l'ordre de grandeur de celui de la radiation étalon (voir *Procès-Verbaux C.I.P.M.*, **31**, 1963, p. 50 et **34**, 1966, p. 36).

Influence de l'intensité du courant. — Entre 6 mA et 24 mA (densité de courant de 0,19 à 0,76 A/cm²), aucune variation de la longueur d'onde des neuf radiations n'a été décelée aux incertitudes de mesure près (quelques femtomètres pour les quatre radiations les plus favorables: K 5, K 6, K 7, K 8).

Radiation 1,014 μ m du mercure 198 (J. Hamon)

A la suite de l'étude sur les radiations infrarouges du krypton 86, on a entrepris une étude analogue sur le spectre du mercure 198.

La source utilisée est un tube sans électrodes, fourni en 1964 par le N.R.C.

(Canada), contenant 2 mg de Hg 198 et de l'argon sous une pression nominale de 0,25 mmHg (33,3 N/m²). Ce tube a été régénéré deux fois par chauffage.

Dans le domaine spectral exploré, il nous est apparu qu'une seule radiation ($\lambda = 1,014 \mu\text{m}$) présentait quelque intérêt du point de vue métrologique; cette radiation avait déjà été étudiée succinctement en 1955 au B.I.P.M.

La détermination des variations de la visibilité en fonction de la différence de marche D a été entreprise dans plusieurs conditions :

- a) refroidissement par eau à 20 °C; puissance maximale de l'oscillateur;
- b) refroidissement par eau à 20 °C; puissance minimale de l'oscillateur;
- c) refroidissement par eau à 10 °C; puissance maximale de l'oscillateur.

Les courbes correspondantes sont tracées sur la figure 5; une seule courbe a été tracée pour les conditions b et c qui donnent sensiblement les mêmes résultats.

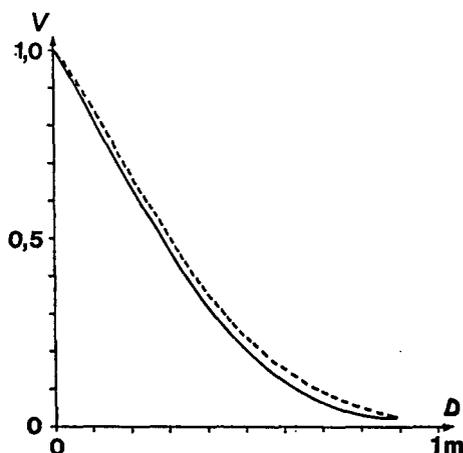


Fig. 5. — Visibilité V des interférences en fonction de la différence de marche D pour la radiation $1,014 \mu\text{m}$ du mercure 198, pour trois conditions de fonctionnement de la lampe :

— puissance maximale, 20 °C
 - - - { puissance maximale, 10 °C
 - · - · { puissance minimale, 20 °C

En exploitant de la même manière que précédemment les variations de $\frac{\log V}{D}$ en fonction de D , on a calculé la température d'agitation atomique :

Conditions	t (°C)
a	73
b	51
c	42

La longueur d'onde de cette radiation, mesurée dans les conditions a à une différence de marche de 375 mm, est :

$$\lambda_{\text{vide}} = 1,014\,257\,171 \mu\text{m} \pm 3 \times 10^{-9} \mu\text{m}.$$

Mesure de la longueur d'onde d'un laser He-Ne stabilisé. Essai de mesure de la dissymétrie du profil de la radiation étalon (J. Hamon)

Afin de vérifier la stabilité de la radiation du laser He-Ne utilisée pour le comptage de franges, nous effectuons périodiquement des mesures de sa longueur d'onde par comparaison directe à celle de la radiation étalon. Ces mesures ont été mises à profit pour tenter de vérifier des observations antérieures mettant en évidence une légère dissymétrie du profil de la radiation étalon ⁽²⁾.

En principe, il s'agit d'étudier les variations de la longueur d'onde apparente de la radiation étalon (désignée ici par KO 1) en fonction de la différence de marche à laquelle on fait les mesures. On peut admettre que la radiation laser est suffisamment fine pour fournir une échelle des différences de marche rigoureusement linéaire. En comparant les ordres d'interférence pour les deux radiations on peut donc mettre en évidence : a) pour une différence de marche donnée, les variations éventuelles de longueur d'onde de la radiation laser; b) pour diverses différences de marche, la dissymétrie du profil de la radiation étalon. Les mesures ont été faites à l'interféromètre de Michelson sous vide (salle 14), à des différences de marche $D = 125, 250, 375, 500, 625$ mm; $D_0 = 375$ mm est choisi arbitrairement comme référence, c'est-à-dire qu'à cette différence de marche on attribue à $\lambda(KO 1)$ sa valeur nominale.

Chaque jour on opère à l'une des différences de marche D et à D_0 , le miroir mobile de l'interféromètre étant placé successivement dans deux positions symétriques par rapport au contact optique dans les deux cas. On se fie donc à la stabilité du laser, mais seulement à court terme (environ deux heures et demie).

Finalement, on calcule l'écart :

$$\epsilon(D) = p(D) - p(D_0) \cdot \frac{D}{D_0} = p(D) - p(D_0) \frac{p'(D)}{p'(D_0)},$$

$p(D)$ et $p'(D)$ étant les ordres d'interférence observés respectivement pour KO 1 et pour la radiation laser à la différence de marche D .

Les résultats sont représentés à la figure 6, sur laquelle on a également reporté les résultats obtenus en 1962 ⁽³⁾.

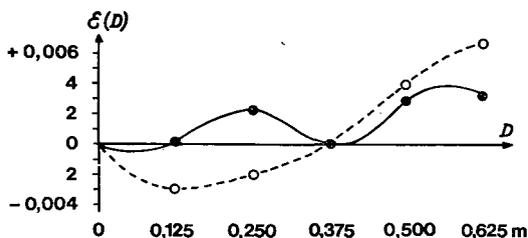


Fig. 6. — Écarts $\epsilon(D)$ des ordres d'interférences en fonction de la différence de marche D pour la radiation étalon primaire.

- Résultats obtenus en 1969 avec un laser He - Ne comme référence.
- Résultats obtenus en 1962 par une méthode de multiplication optique.

⁽³⁾ ROWLEY (W. R. C.) et HAMON (J.). Quelques mesures de dissymétrie de profils spectraux, *Rev. Opt.*, **42**, N° 10, 1963, p. 519.

Les différences entre les résultats de 1962 (obtenus par une méthode de multiplication optique) et ceux de 1969 (obtenus avec le laser comme référence) peuvent être dues à l'existence de modes parasites dans le laser et à une stabilité insuffisante de celui-ci pour de telles mesures. Cette deuxième hypothèse a été confirmée ultérieurement, montrant ainsi que les résultats fournis par la méthode de multiplication optique sont plus sûrs.

Ces expériences nous ont également fourni différentes valeurs de la longueur d'onde de la radiation laser, mesurées à la différence de marche $D_0 = 375$ mm; ces valeurs sont reportées sur la figure 7.

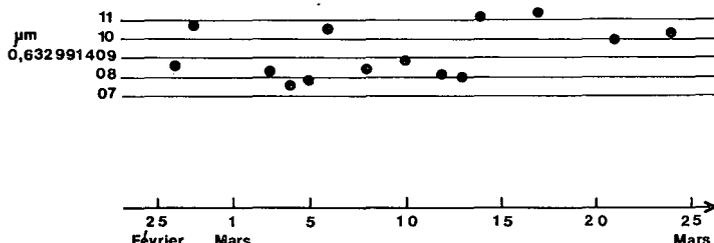


Fig. 7. — Mesures successives de la longueur d'onde dans le vide d'un même laser He - Ne stabilisé.

Aucune dérive significative n'est décelable pendant un mois (environ 170 heures d'utilisation du laser).

Masses (G. Girard, J.-M. Chartier)

Études courantes

L'étalonnage de la série de masses de premier ordre 0 en platine iridié (500 g à 1 mg) du Bureau International a été terminé; aucune variation sensible de la masse de l'une quelconque des pièces n'a été constatée depuis le précédent étalonnage effectué en 1954.

La masse volumique ⁽⁴⁾ d'un Kilogramme ancien en nickel (Ni 2) a été déterminée de nouveau à l'occasion d'une mesure de la masse volumique d'une solution de sulfate de manganèse (*voir* ci-après). On a obtenu :

Masse volumique du Kilogramme Ni 2 = 8 748,65 kg/m³ à 0 °C.

La précédente détermination (1898) avait donné, pour deux mesures : 8 746,98 et 8 749,16; l'écart entre ces deux valeurs est trop important pour que l'on puisse utilement les comparer au nouveau résultat ci-dessus.

Autres études effectuées :

— Masse et masse volumique d'un Kilogramme en acier inoxydable (Bureau Central des Mesures Nucléaires, Geel, Belgique).

— Masse de cinq Kilogrammes en acier inoxydable « Immaculate V » (Norske Justervesen, Oslo).

⁽⁴⁾ La masse volumique déterminée par pesée hydrostatique est en fait rapportée à celle de l'eau de référence utilisée. Au B.I.P.M. on utilise de l'eau du robinet bidistillée pour laquelle on adopte les valeurs de la table de Chappuis (*Travaux et Mémoires B.I.P.M.*, 13, 1907), converties en masse volumique à l'aide du coefficient 999,972 kg/m³ admis pour la masse volumique de l'eau à 4 °C.

— Masse volumique d'une pièce en « Immaculate V », voisine de 1 kg, destinée à constituer un Kilogramme pour l'Irlande.

— Masse de quatre pièces en platine (1 g, 10, 5 et 1 mg) et de deux pièces (20 et 10 g) en acier inoxydable « Uranus » (Laboratoire National d'Essais, Paris).

Masse volumique d'une solution de sulfate de manganèse

La masse volumique (4) d'une solution de sulfate de manganèse (500 g de $MnSO_4$ pour 1 l d'eau) employée pour les mesures neutroniques (voir p. 93) a été déterminée par pesée hydrostatique en utilisant le Kilogramme Ni 2. Six pesées ont été effectuées sur un intervalle de 24 heures, pendant lequel la température de la solution a augmenté progressivement de 0,05 K.

Bien que le fil de suspension traversant la surface de séparation solution-air ait été recouvert de noir de platine, comme pour les pesées dans l'eau, on a constaté que les oscillations du fléau de la balance étaient plus amorties, l'amortissement s'accroissant en outre d'une pesée à l'autre; l'état superficiel du fil de suspension était visiblement modifié par son séjour dans la solution ($pH = 2,7$).

En admettant que le coefficient de dilatation de la solution est le même que celui de l'eau pure (pour ramener les résultats à la température moyenne de 22,175 °C) et que la diminution de masse du Kilogramme Ni 2 (voisine de 7 mg en 30 h) est proportionnelle au temps passé dans la solution, on obtient les résultats portés à la figure 8.

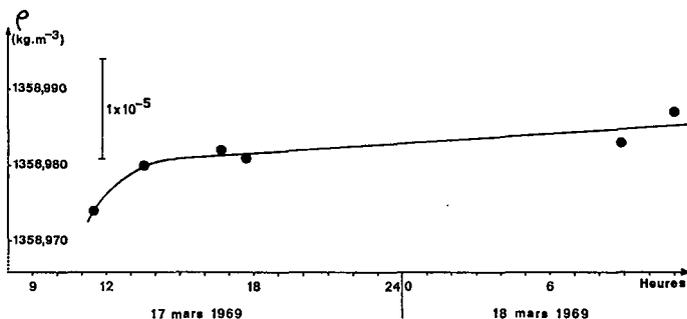


Fig. 8. — Masse volumique ρ , à 22,175 °C, d'une solution de sulfate de manganèse (500 g de $MnSO_4$ pour 1 l d'eau).

L'augmentation lente de la masse volumique de la solution peut être attribuée à l'évaporation; d'autre part, le régime permanent n'était probablement pas encore atteint lors de la première mesure commencée environ 3 heures après les préparatifs.

La précision d'environ 10^{-5} demandée pour cette mesure est toutefois certainement atteinte.

Masse volumique de l'eau

L'étude de l'influence de la composition isotopique de l'eau sur sa masse volumique, ou sa densité, a été poursuivie avec l'aide de Mr Menaché (voir Rapports 1967, p. 41 et 1968, p. 44).

Grâce à l'obligeance du Dr Hermann, directeur du Service International

de l'eau de mer étalon, et de Mr Lorius, Maître de Recherches au C.N.R.S., nous avons pu disposer d'une certaine quantité de deux eaux naturellement très légères provenant, l'une de Thulé (Groenland), l'autre d'une station située au Groenland à 2 900 m d'altitude. Le Musée Océanographique de Monaco nous a fourni de l'eau de mer prélevée au large de la Principauté. Nous les remercions vivement de leur concours.

Suivant la méthode déjà décrite, nous avons fait des pesées hydrostatiques avec ces différentes eaux ainsi qu'avec de l'eau du robinet; tous les échantillons utilisés ont été préalablement purifiés par distillation.

Les mesures ont mis en évidence les différences de masse volumique suivantes à 22 °C :

	$\Delta \rho$
eau du robinet — eau de Thulé	+ $4,6 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$
eau du robinet — eau du Groenland.....	+ $9,7 \times 10^{-3}$
eau de mer — eau du Groenland	+ $11,8 \times 10^{-3}$

Toutes nos mesures de masse volumique de l'eau ont été effectuées, jusqu'ici, par la méthode de pesée hydrostatique, méthode longue et délicate. Une méthode différentielle devrait permettre des mesures relatives plus rapides, voire même plus précises.

Nous envisageons donc d'utiliser la méthode mise au point par Mr Spaepen du Bureau Central des Mesures Nucléaires (B.C.M.N.) à Geel, Belgique. Elle consiste à mesurer la température à laquelle un plongeur est en équilibre dans l'eau. Comme il est difficile d'ajuster la température pour que le plongeur soit tout à fait immobile, on mesure pour plusieurs températures, proches de la température d'équilibre, sa vitesse de déplacement vertical, soit ascendante, soit descendante. Pour des vitesses inférieures à 40 $\mu\text{m/s}$ environ on a une relation linéaire entre la vitesse et la température; la température d'équilibre est donc déterminée par une interpolation simple et précise. La masse volumique de l'eau et le volume du plongeur variant avec la pression, on doit tenir compte de la pression ambiante et de la profondeur d'immersion, soit par des termes correctifs déterminés expérimentalement, soit en effectuant les mesures à pression et profondeur fixes.

Nous possédons actuellement deux plongeurs, confectionnés et ajustés à notre intention par le B.C.M.N. (Mr Moret), ce dont nous le remercions vivement. Ce sont des tubes en silice fondue ($h \approx 10 \text{ cm}$, $d = 18 \text{ mm}$), lestés avec du mercure et scellés. Ils sont pourvus intérieurement, dans leur axe, de deux pointes fines en regard permettant les pointés pour les mesures précises de la vitesse de déplacement.

La précision de la méthode dépend essentiellement de l'uniformité et de la stabilité de la température de l'échantillon d'eau. On a donc construit un bain à température réglable et uniforme schématisé figure 9. Il comporte deux cuves distinctes; la première contient les éléments du thermostat, la seconde sert aux mesures proprement dites.

La régulation de la température est schématisée figure 10. Une première régulation grossière permet de porter l'eau à la température désirée à $\pm 20 \text{ mK}$ près, à l'aide d'un thermomètre à mercure à contact T et d'une résistance chauffante R dont la tension aux bornes est ajustable manuellement. Une fois cette température atteinte, on substitue à ce dispositif de régulation grossière un dispositif de régulation fine qui permet alors d'ajuster la température de l'eau à la valeur voulue, à 0,25 mK près.

Une sonde à résistance de platine S_1 (100 Ω à 0 °C) est montée dans un des quatre bras sensiblement égaux d'un pont de Wheatstone. Un suiveur de spot enregistre les déviations du galvanomètre associé au pont. Le curseur d'un potentiomètre linéaire est couplé au suiveur de spot; un potentiomètre auxiliaire fournit le potentiel de référence. Le déséquilibre apparaissant entre les curseurs de ces potentiomètres est amplifié et commande le chauffage.

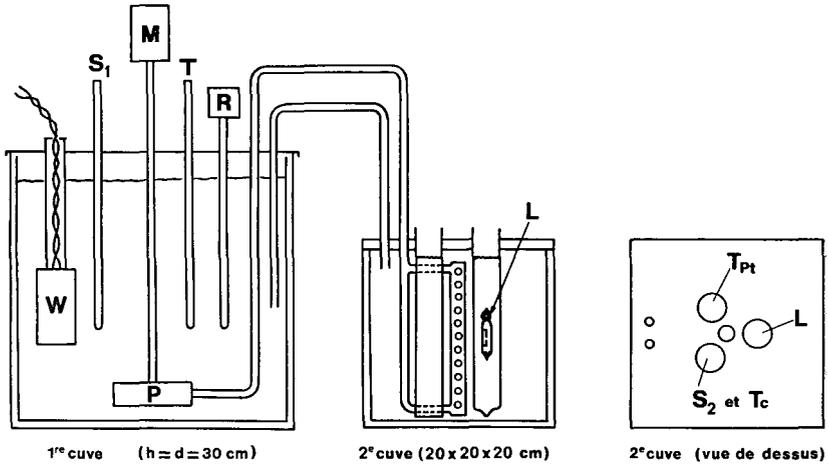


Fig. 9. — Bain à température réglable pour les mesures de masse volumique par la méthode du plongeur.

M, moteur; P, pompe de circulation; T, Thermomètre à contact; R, résistance de chauffage; W, boîte étanche contenant les résistances fixes des deux ponts de Wheatstone; S_1 , S_2 , sondes à résistance de platine; T_c , thermocouple différentiel; T_{Pt} , thermomètre de précision à résistance de platine; L, plongeur.

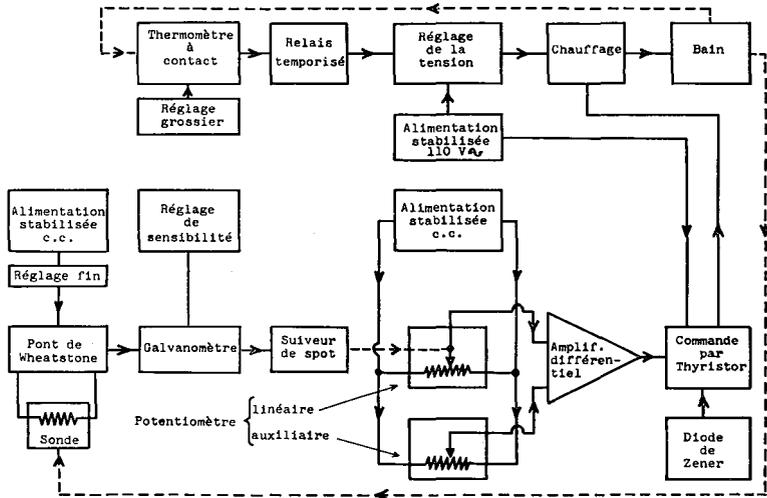


Fig. 10. — Principe de la régulation thermique du bain de la figure 9.

L'eau thermorégulée circule d'une cuve à l'autre à l'aide de la pompe P actionnée par le moteur M. L'eau arrive au centre de la 2^e cuve par un tube vertical percé de petits trous, ceci afin d'éviter les gradients de température verticaux. Dans cette 2^e cuve, trois tubes disposés symétriquement contiennent respectivement le plongeur L et l'eau à étudier, un thermomètre à résistance de platine de précision T_{pt} , une sonde à résistance de platine S_2 et un thermocouple différentiel T_c .

Les variations de résistance de la sonde S_2 sont mesurées par un pont de Wheatstone et enregistrées. Une fois stabilisée, à 22 °C environ, la température ne présente pas de variations à court terme supérieures à 0,2 ou 0,3 mK; sur une période de 40 heures, la dérive ne dépasse pas 2 mK. (La température de la salle est maintenue constante à 20 °C \pm 0,1 °C).

L'uniformité de la température dans les trois tubes a été vérifiée à l'aide d'un thermocouple différentiel. Dans un même plan horizontal on n'a constaté aucune différence (à 0,2 mK près) entre les tubes. Verticalement, le gradient est légèrement variable et inférieur à 5 mK/m.

Au moment des expériences la température sera mesurée à l'aide du thermomètre à résistance T_{pt} . Au voisinage de 22 °C, la masse volumique de l'eau varie de 1×10^{-6} lorsque la température varie de 4,5 mK. Si l'on veut détecter des variations de masse volumique de l'ordre de 1×10^{-7} il faut que la température soit constante et uniforme à mieux que 0,5 mK près. Ce résultat semble acquis.

D'après les mesures préliminaires effectuées, les températures d'équilibre sont approximativement :

Plongeur N°	t (°C)	p
1	21,958	101 458 N/m ² (761 mmHg)
2	21,886	103 097 N/m ² (773 mmHg)

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

Détermination absolue de g

Depuis octobre 1968, notre activité dans ce domaine a été consacrée à rechercher la limite de reproductibilité et d'exactitude que l'on peut attendre de notre appareil pour la mesure de g . Nous avons été encouragés dans ce sens par l'intérêt porté à cet appareil par de nombreux laboratoires et observatoires, confirmant ainsi l'importance des besoins de la géophysique et de l'astrophysique en appareils de ce genre. Les premiers résultats nous donnent bon espoir d'atteindre le but que nous pouvions nous fixer : après diverses améliorations de détail, la reproductibilité de nos mesures récentes semble meilleure que 1×10^{-8} .

Parallèlement, nous collaborons à la réalisation de deux appareils absolus transportables :

— Le premier fonctionne maintenant, à l'état de prototype, à la société française Thomson-C.S.F.; les essais ont donné une valeur de g coïncidant, à 2×10^{-7} près, avec la valeur mesurée par liaison gravimétrique avec Sèvres; un autre prototype, dont on attend une précision supérieure, est à l'étude.

— Le second appareil est en cours de réalisation à l'Institut de Métrologie G. Colonnetti, à Turin. A titre exceptionnel, quelques parties délicates

de l'appareil ont été construites par nos soins (trièdres, catapulte). Dans le cadre de cette collaboration, Mr G. Cerutti, physicien responsable de cette étude à Turin, a effectué un stage de deux semaines au Bureau à la fin du mois de mai 1969.

Valeurs de g pour 1967-1968

Nous avons déjà signalé (Rapport de 1968, p. 46) que la correction d'obliquité appliquée à la mesure de l'étalon de longueur utilisé pour la mesure de g paraissait trop élevée. Ce résultat a été confirmé.

En conséquence, les valeurs provisoires de g données dans les Rapports de 1967, p. 50 et de 1968, p. 49 doivent être corrigées de -13×10^{-8} m/s²; les valeurs révisées pour « Sèvres A » et les écarts-types d'une mesure sont donc :

$$g_{\text{Sèvres A}} = (9,809\,259\,62 \pm 0,000\,000\,13) \text{ m/s}^2 \quad (\text{août-sept. 1967});$$

$$g_{\text{Sèvres A}} = (9,809\,259\,51 \pm 0,000\,000\,19) \text{ m/s}^2 \quad (\text{août-sept. 1968}).$$

L'erreur sur la correction d'obliquité provenait de la limitation partielle des faisceaux par le miroir avant (percé) de l'étalon lorsqu'on observe le miroir du fond. On a mesuré la correction d'obliquité effective et on l'a trouvée inférieure de 10,4 nm à la correction calculée appliquée antérieurement.

La longueur de notre étalon N° 1, à 20 °C (dans l'E.I.P.T. de 1968, soit 19,992 5 °C dans l'ancienne échelle) devient donc $l_1 = (792\,589\,462,5 \pm 1,6)$ nm; cette longueur est reproductible à 1 nm près, à chaque mesure, depuis qu'on a amélioré la stabilisation thermique de la salle, il y a plusieurs mois.

Pour cette mesure de l'étalon on utilise une lampe à krypton, type Engelhard, fonctionnant dans un bain à $(58,0 \pm 0,3)$ K (dont $\pm 0,1$ K pour les variations accidentelles de température et $\pm 0,2$ K pour l'étalonnage du thermomètre) et alimentée avec un courant de 15,0 mA. On a adopté comme longueur d'onde, dans ces conditions et compte tenu de la différence de marche de 0,8 m : $\lambda = 0,605\,780\,199\,8$ μm ; l'incertitude relative sur cette valeur peut être estimée à quelques 10^{-9} .

Nouvelle série de mesures de g

De nouvelles mesures ont été commencées à la fin de mai 1969; l'exemple suivant permet de préciser l'état actuel de l'expérimentation.

La figure 11 donne les cinq valeurs successives de g obtenues au cours de la nuit, le 15 juin 1969, au point A 2 (point de mesure). Malgré les conditions sismiques peu favorables et des corrections de microséismes pouvant atteindre 2×10^{-7} g , les valeurs corrigées concordent entre elles à quelques 10^{-9} près. Cela montre l'efficacité du nouveau sismomètre à longue période utilisé comme point de référence, et autorise à penser que l'effet des erreurs résiduelles reste de l'ordre de 10^{-9} , malgré leurs multiples origines : vibrations et rotation du trièdre mobile, trajectoire non rigoureusement verticale, déphasage entre les oscillations de l'interféromètre et celles du sismomètre, perturbation du sismomètre par les variations du champ magnétique ou par des ondes acoustiques, etc. On peut également noter un léger accroissement, de l'ordre de 5×10^{-8} m/s², de la valeur mesurée de g pendant la durée (environ 1 h) de la série de mesures. Cet accroissement paraît systématique dans les récentes séries de mesures, alors que les valeurs de g

obtenues au début de chaque série sont concordantes (à quelques 10^{-9} près) au voisinage de $9,809\ 256\ 67\ \text{m/s}^2$. Nous ignorons actuellement l'explication de cette dérive.

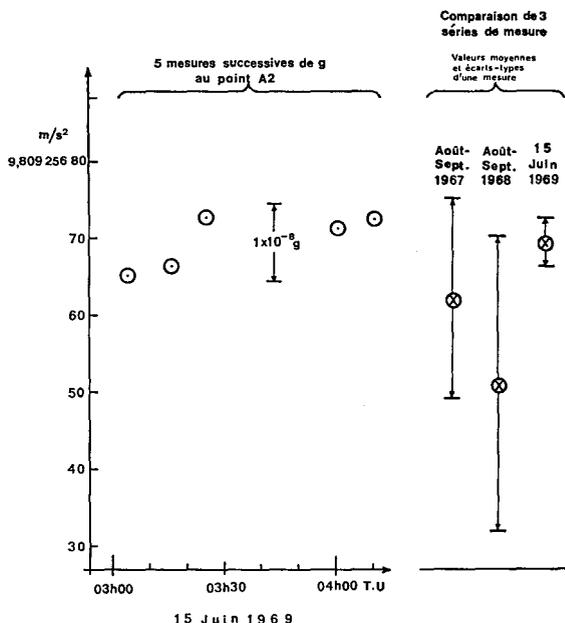


Fig. 11.

Les valeurs *provisaires* de g au point de mesure A 2 et les écarts-types d'une mesure sont les suivants :

$$g_{A_2} = (9,809\ 256\ 67_2 \pm 0,000\ 000\ 08_2) \text{ m/s}^2 \quad (\text{juin-juillet 1969})$$

$$g_{A_2} = (9,809\ 256\ 65_4 \pm 0,000\ 000\ 05_4) \text{ m/s}^2 \quad (\text{août-septembre 1969})$$

Ces valeurs transférées au point A donnent :

$$g_{S_{\text{èvres}} A} = 9,809\ 259\ 67 \text{ m/s}^2 \quad (\text{juin-juillet 1969})$$

$$g_{S_{\text{èvres}} A} = 9,809\ 259\ 66 \text{ m/s}^2 \quad (\text{août-septembre 1969})$$

Les différences observées par rapport aux valeurs mesurées en 1967 et en 1968 (*voir* ci-dessus) restent à l'intérieur des limites d'incertitude. Ces faibles différences entre des mesures qui ne couvrent qu'une période de trois années ne permettent pas encore de se prononcer sur l'éventualité d'une variation séculaire de g .

Charges électrostatiques

Nous avons déjà prévu que l'effet des charges électrostatiques sur le trièdre lancé doit être négligeable (Rapport de 1965, p. 42).

Cette prévision a été confirmée expérimentalement, en portant le trièdre mobile à un potentiel électrique de $+430\ \text{V}$ ou $-430\ \text{V}$ par rapport à l'enceinte (charge $\approx \pm 8 \times 10^{-9}\ \text{C}$).

La valeur apparente de g mesurée dans ces conditions était en moyenne

inférieure (environ 8×10^{-9}) à la valeur mesurée normalement. La charge résiduelle sur le trièdre restant normalement inférieure à 2×10^{-11} C, l'erreur sur g due aux forces exercées sur le trièdre par cette charge doit rester inférieure à 1×10^{-10} .

Freinage par l'air résiduel

Cette expérience (voir Rapport de 1967, p. 50) a été reprise en augmentant la pression jusqu'à $1,6 \text{ N/m}^2$ ($12 \text{ } \mu\text{mHg}$). On a constaté que l'influence du freinage par l'air résiduel s'élimine encore exactement dans ce domaine de pression où la valeur mesurée de g concorde à 10^{-9} près avec celle qui est obtenue dans un vide poussé (compte tenu de la correction de poussée de l'air et de la correction d'indice de réfraction sur les mesures interférentielles). Ainsi, tant qu'on adopte la méthode « des deux stations » (double chute symétrique, ascendante puis descendante) il n'est pas indispensable d'utiliser une pompe secondaire pour faire le vide dans l'appareil; cet avantage sera particulièrement précieux dans le cas d'un appareil portable.

Neutralisation des microséismes à longue période

Un dispositif piézoélectrique destiné à la neutralisation des microséismes à longue période (3 à 7 s) sur notre table stabilisée vient d'être réalisé. Il permet d'atténuer l'amplitude de ces microséismes, avec un taux d'atténuation supérieur à 5, tant que leur amplitude maximale reste inférieure à $0,6 \text{ } \mu\text{m}$ de crête à crête.

Une nouvelle série de mesures de g est prévue prochainement avec ce dispositif.

Comparaison de l'étalon de longueur N° 1 par deux interféromètres

Jusqu'à maintenant, la longueur des étalons de référence en silice fondue N°s 1 et 2 (0,8 m) était déterminée sur place dans le caisson à vide horizontal avec un interféromètre de Michelson destiné uniquement à cet usage; il était souhaitable de vérifier ces mesures directement avec l'interféromètre vertical de mesure de g (voir *fig. 10 a* et *b*, Rapport 1965, p. 43, et *fig. 8*, Rapport 1963, p. 44).

Cette comparaison a été commencée récemment pour l'étalon N° 1 (l'étalon N° 2, légèrement instable, n'étant plus employé) en utilisant un laser stabilisé. Les résultats préliminaires obtenus montrent déjà que l'écart entre les valeurs mesurées avec l'un ou l'autre des deux interféromètres ne dépasse pas 2×10^{-8} . On a toutefois constaté que les mouvements du sol et la liaison souple entre les deux caissons à vide de l'installation sont la cause d'une dispersion excessive des résultats. Des modifications sont en cours pour améliorer les conditions de mesure afin d'obtenir, en utilisant la radiation étalon primaire, une précision de 1×10^{-9} .

L'étude des causes d'erreurs systématiques et leur élimination sont maintenant très avancées; nous espérons dans un proche avenir pouvoir donner des valeurs de g définitives.

Matériel

Les principaux appareils acquis ou construits depuis octobre 1968 sont les suivants:

— un oscilloscope portable 0-150 MHz (type 454, Tektronix, États-Unis);

- un enregistreur à plumes deux voies, avec un commutateur automatique permettant quatre enregistrements par points (Sefram, France);
- un sismomètre à longue période portatif (type SL 210, Geotech, États-Unis);
- un préamplificateur 0-150 MHz, 40 dB (Hewlett Packard, États-Unis);
- deux lames interférentielles et 15 petits miroirs (Institut d'Optique, Paris).

A l'atelier d'électronique, construction de :

- une montre numérique à mémoire;
- un picoampèremètre;
- préamplificateurs à faible bruit, intégrateurs et alimentations.

A l'atelier de mécanique, construction de :

- un caisson à vide en duralumin $0,50 \times 0,75 \times 0,55$ m, masse 175 kg, destiné à un sismomètre à longue période;
- huit montures de trièdres en duralumin;
- les pièces détachées de deux catapultes.

Au sous-sol de la salle, un espace a été aménagé pour l'installation des appareils de mesure : microbaromètre, sismomètre, etc.

Thermométrie (J. Bonhoure, G. Girard)

Échelle Internationale Pratique de Température

L'équipement nécessaire pour utiliser au Bureau International l'E.I.P.T. dans le domaine des températures du point triple de l'eau au point de congélation de l'or est maintenant en fonctionnement régulier.

Les deux thermomètres à résistance de platine qui assurent actuellement les besoins propres de la section de thermométrie ont été systématiquement étalonnés, puis contrôlés à la suite des séjours prolongés à 630 °C qu'occasionne l'étalonnage des thermocouples à cette température; trois autres thermomètres à résistance de platine, achetés en Grande-Bretagne et étalonnés au National Physical Laboratory, ont été contrôlés à leur arrivée à Sèvres.

Les cinq thermocouples platine/platine rhodié à 10 % dont nous disposons, et qui sont destinés à l'étude de la température thermodynamique du point de congélation de l'or par une méthode pyrométrique, ont été étalonnés à nouveau aux trois températures de référence; de plus, à 630 °C, on a procédé à la comparaison des thermocouples entre eux; ces mesures nous ont confirmé que le thermocouple étalon ne pouvait pas repérer une température à mieux que 0,1 K près. Pour les étalonnages courants de thermocouples, qui ne justifient pas la mise en service des points de congélation de l'argent et de l'or, nous avons entrepris la construction d'un four horizontal de comparaison pouvant fonctionner jusqu'à 1 100 °C; ce four, comme les précédents, comporte cinq blocs cylindriques de nickel portés à la température désirée par cinq enroulements de chauffage indépendants; les thermocouples à comparer seront introduits dans deux puits aussi proches que possible l'un de l'autre et situés de part et d'autre de l'axe géométrique du four.

Au cours des travaux périodiques d'entretien et d'étalonnage du pont

de Smith, qui est utilisé pour la thermométrie à résistance, nous avons observé que les résistances en manganine des différentes décades avaient à nouveau évolué; ces évolutions, raisonnables mais qui s'ajoutent aux précédentes, ne permettent plus actuellement d'assurer le dix-millième de degré en toutes circonstances. Un réajustage de certaines résistances devient nécessaire et sera effectué à l'occasion du prochain étalonnage.

Température thermodynamique du point de congélation de l'or

Cette étude, dont les caractéristiques ont déjà été exposées dans les précédents rapports, vient effectivement de commencer. Nous en rappelons brièvement le principe. Deux cavités rayonnantes identiques, assimilables à des corps noirs, sont maintenues à des températures respectivement voisines de 630 °C et de 1 064 °C; deux thermocouples, placés à l'intérieur des cavités, donnent les valeurs des températures dans l'E.I.P.T.; un récepteur photoélectrique, précédé d'un filtre interférentiel à bande passante étroite centrée sur une longueur d'onde voisine de 1 μm , fournit le rapport des luminances énergétiques spectrales des cavités. Si pour la température voisine de 630 °C l'écart entre la température thermodynamique et sa mesure dans l'E.I.P.T. est déjà parfaitement connu, la méthode pyrométrique permet alors de déterminer l'écart homologue pour la température voisine de 1 064 °C.

Les premières mesures effectuées sont naturellement beaucoup trop sommaires pour attribuer une valeur, même provisoire, à la température thermodynamique du point de congélation de l'or, mais on peut déjà faire les remarques suivantes :

— L'uniformité de température le long des cavités est réalisable à quelques centièmes de degré près, même à 1 064 °C.

— L'assimilation de chaque cavité à un corps noir, en dépit de l'ouverture d'observation, est sans doute admissible compte tenu des caractéristiques géométriques de la cavité, mais on sait maintenant qu'il sera possible d'effectuer des mesures après réduction de moitié de l'aire de l'ouverture; on dispose ainsi d'un moyen direct pour étudier l'influence de ce paramètre qui n'intervient d'ailleurs que parce que l'émissivité de l'oxyde de nickel est fonction de la température.

— La longueur d'onde effective de l'ensemble constitué par le récepteur photoélectrique et le filtre interférentiel semble a priori facile à déterminer à 0,1 ou 0,2 nm près; cependant les résultats obtenus avec deux filtres différents sont jusqu'à maintenant en désaccord, désaccord qui conduirait à attribuer au point de l'or des températures s'écartant l'une de l'autre de plus de 1 K. Le contrôle des courbes de transmission des filtres par les procédés classiques s'impose, mais on envisage également une étude par interférométrie de Fourier.

— La linéarité du récepteur photoélectrique (tube du type Gillod-Boutry à cathode CsAgO) doit être vérifiée à 0,1 % près pour des rapports d'éclairements pouvant atteindre 40, compte tenu du diviseur d'éclairement à quatre fenêtres déjà monté sur le faisceau. Une tentative d'emploi de verres neutres comme atténuateurs optiques, directement étalonnés sur le faisceau à mesurer, semble vouée à l'échec par suite des réflexions parasites. Un dispositif de contrôle systématique de la linéarité par addition de flux est en cours de construction; toutefois, les vérifications déjà faites pour

un rapport d'éclaircissements de quatre n'ont pas permis de mettre en défaut de façon significative la linéarité du récepteur.

— On a indiqué dans le chapitre précédent qu'il ne paraissait pas possible que les thermocouples donnent la température à mieux que 0,1 K; or une telle incertitude à 630 °C entraîne une incertitude presque deux fois et demie supérieure à 1 064 °C. C'est pourquoi on envisage de remplacer ultérieurement les thermocouples par des thermomètres à résistance de platine.

Thermomètres à mercure : études courantes

— Étalonnage entre 15,5 et 24,5 °C de trois thermomètres (Section des radiations ionisantes du B.I.P.M.).

— Vérification autour de 20 °C de deux thermomètres calorimétriques (Laboratoire Central des Industries Électriques, France).

Calculs relatifs à l'E.I.P.T. de 1968 (P. Carré)

Le Bureau International a participé à la rédaction du texte de l'Échelle Internationale Pratique de Température de 1968 et a assuré sa publication. Le calcul des tables numériques qui accompagnent cette Échelle a été effectué indépendamment au Conseil National de Recherches (Ottawa) et au Bureau International, ce qui a permis une vérification.

Dans le domaine de 13,81 K à 273,15 K la définition de la Température Internationale Pratique fait appel à la fonction de référence $W_{\text{CCT-68}}(T_{68})$ définie par :

$$T_{68} = \left[A_0 + \sum_{i=1}^{20} A_i (\ln W_{\text{CCT-68}}(T_{68}))^i \right] \text{ K.}$$

Nous avons établi une table des valeurs de $W_{\text{CCT-68}}$ pour des valeurs échelonnées de T_{68} et une table des valeurs de T_{68} pour des valeurs échelonnées de $W_{\text{CCT-68}}$ de façon qu'une interpolation linéaire ne donne jamais d'erreur supérieure à 10^{-4} K.

Au voisinage de la limite inférieure de ce domaine, certains termes du développement, de signes alternés, dépassent 10^{10} en valeur absolue. L'établissement de ces tables exige donc des sous-programmes de calcul dont l'erreur ne dépasse pas environ 10^{-16} . Dans ce but, nous avons mis au point de tels sous-programmes (de précision 10^{-18}) pour notre ordinateur I.B.M. 1130. Ils sont maintenant disponibles pour d'autres usages éventuels.

Nous avons également calculé les coefficients à introduire dans la formule donnant la masse volumique du mercure en fonction de la pression et de la température t_{68} pour le domaine 0 °C à 40 °C, par transformation de la formule établie par Beattie en fonction de t_{48} . (Paragraphe III.3 du texte de l'Échelle).

Accessoirement, nous avons établi la formule suivante pour représenter le volume massique du mercure à la température t_{68} , en prenant comme référence le volume massique à $t_{68} = 20$ °C, pour la totalité du domaine de validité de la formule de Beattie (0 °C à 350 °C) :

$$\frac{v(t_{68}) - v(20 \text{ °C})}{v(20 \text{ °C})} = A'(t_{68} - 20 \text{ °C}) + B'(t_{68} - 20 \text{ °C})^2 + C'(t_{68} - 20 \text{ °C})^3 + D'(t_{68} - 20 \text{ °C})^4,$$

avec

$$\begin{aligned} A' &= 1,811\,435 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \\ B' &= 0,775\,4 \times 10^{-8} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2} \\ C' &= 3,372\,7 \times 10^{-11} \text{ } ^\circ\text{C}^{-3} \\ D' &= 2,322 \times 10^{-14} \text{ } ^\circ\text{C}^{-4} \end{aligned}$$

Enfin, nous avons vérifié la table donnant les différences $t_{68} - t_{48}$ pour le domaine du thermocouple.

Manométrie (J. Bonhoure, J. Hamon)

A la suite de travaux de maçonnerie effectués sur le pilier supportant le manobaromètre interférentiel, l'interféromètre qui sert dans cet appareil à localiser les surfaces de mercure s'est trouvé dérégulé. Bien que la visibilité des franges ait fortement diminué, elle n'était pas nulle, ce qui confirme la robustesse du montage; on a procédé à un nouveau réglage. On a également amélioré l'aménagement des appareils auxiliaires (oscilloscope, jauge de Pirani, alimentation du photomultiplicateur, etc.), qui ont été rassemblés de façon rationnelle à proximité du manobaromètre.

Plusieurs études ont été effectuées, en particulier :

— étalonnage d'un manomètre différentiel à soufflet pour la section de gravimétrie;

— contrôle du manobaromètre normal du Bureau construit en 1883 et qui était utilisé pour les mesures de précision jusqu'à la mise en service du manobaromètre interférentiel. Malgré le mauvais état apparent de cet appareil, la comparaison a montré que les pressions observées, tout au moins au voisinage de la pression atmosphérique, étaient encore correctes à 3 N/m² près.

Électricité (G. Leclerc)

Aménagements et équipement

L'équilibre thermique dans la salle principale des mesures électriques (salle 15), dans laquelle sont conservées les résistances et les piles étalons de référence du B.I.P.M., a été fortement perturbé par la mise en marche dans la salle de photométrie située au-dessous, de fours à 1 064 °C et 630 °C. Nous avons été conduits à augmenter l'isolement thermique entre les deux salles et à mettre en place dans la salle de photométrie un faux plafond séparé du plafond principal par un intervalle d'environ 10 cm dans lequel circule de l'air thermorégulé à 20 °C.

La nouvelle cuve pour piles étalons décrite dans le Rapport de 1968, p. 53, a été expérimentée. Malgré l'importance de son volume (environ 270 dm³) l'agitation du bain d'huile assure l'homogénéité de la température de l'huile à quelques dix-millièmes de kelvin près. Cependant nous avons dû réduire la vitesse de rotation de l'hélice de 84 à 48 tours par minute pour que l'élévation de température provoquée par l'agitation ne dépasse pas 0,01 K/h.

Nous avons par ailleurs étudié un projet d'enceinte thermorégulée à 21 °C permettant de conserver dans l'air des piles étalons à une température constante à quelques dix-millièmes de kelvin près.

Pour renouveler les étalons de force électromotrice qui constituent notre groupe de référence nous avons acheté 10 piles (Eppley Laboratory, États-Unis d'Amérique).

Un potentiomètre utilisant le principe du comparateur de courants continus, mis au point au N.R.C. par Kusters, a été acheté (Guildline Instruments Ltd). Cet instrument, dont la caractéristique essentielle est la stabilité dans le temps, nous permettra indépendamment d'autres usages de contrôler fréquemment, rapidement et avec précision les potentiomètres qu'utilisent les différentes sections du B.I.P.M.

En prévision de la prochaine comparaison des étalons nationaux de résistance fixée à la fin de 1969, nous avons révisé notre pont double principal (démontage, nettoyage, vidange de la cuve, filtrage des 250 l d'huile).

En attendant la construction d'une nouvelle cuve thermostat, quelques améliorations ont été apportées à la cuve actuelle (1960) qui permet de réaliser toute température entre 15 et 35 °C à 0,01 K près.

Avec les résistances (Electro Scientific Industries) acquises l'an dernier nous avons construit deux étalons de passage, le premier comprenant 11 sections de $10^4 \Omega$, le second 11 sections de $1 M\Omega$.

Un thermomètre à résistance de platine Tinsley a également été acheté.

Étalons de résistance en platine

Toutes les trois années environ nous redéterminons la résistance de nos étalons spéciaux de 1Ω en platine pur définis à la température du point triple de l'eau. Les valeurs obtenues en mars-avril 1969 :

$$T 1 = 0,999\ 940\ 2 \Omega_{89-BI}$$

$$T 3 = 1,000\ 455\ 6$$

$$T 4 = 0,999\ 890\ 1$$

confirment l'excellente stabilité relative du platine et de la manganine (voir *Procès-Verbaux C.I.P.M.*, **34**, 1966, p. 56), stabilité qui semble prouver que la dérive du groupe de référence qui conserve Ω_{89-BI} est extrêmement faible, vraisemblablement de l'ordre de 5×10^{-7} en 10 ans.

Bobines de passage de 1 à 100 Ω (N.S.L.) et de 100 à 10 000 Ω (E.T.L.)

Rappelons que chacune de ces bobines est constituée de 11 résistances d'égale valeur ($11 \times 10 \Omega$, N.S.L.; $11 \times 1\ 000 \Omega$, E.T.L.) que l'on peut mettre en parallèle ou en série.

Nous utilisons régulièrement la bobine de passage de 1 à 100 Ω depuis une douzaine d'années et nous en avons refait une étude complète pour nous assurer qu'elle avait conservé toutes ses qualités.

Quant à la bobine de passage de 100 à 10 000 Ω nous n'avons pu jusqu'à présent qu'étudier son évolution, car nous ne disposons actuellement d'aucun moyen pour contrôler l'exactitude du rapport 100.

Transfert du « volt » au moyen de piles conservées à température constante dans une enceinte thermorégulée

Les piles étalons supportent aussi mal les chocs thermiques que les chocs mécaniques. Pour les comparaisons internationales, par exemple, on réduit l'importance des chocs mécaniques en transportant les étalons à la main, ou en utilisant des emballages spéciaux, mais on n'évite pas, malheureusement, l'influence des variations de température.

Pour cette raison il faut attendre que les piles aient retrouvé leur équilibre thermique avant d'entreprendre les mesures; cela demande plusieurs semaines. Mais ce qui est plus grave encore, c'est que la force électromotrice

d'une pile qui a subi une variation de température risque de ne pas reprendre rigoureusement sa valeur originale.

La mise au point d'enceintes thermorégulées pour conserver à longueur d'année des piles à température constante à quelques millièmes de kelvin près, y compris pendant leur transport, devrait permettre dans un proche avenir de réduire la durée des comparaisons et d'améliorer leur précision.

Des essais sont en cours avec de telles enceintes et le B.I.P.M. a déjà participé à deux expériences avec le N.B.S. dont les piles voyageuses ne sont restées à Sèvres qu'une dizaine de jours. Les résultats de la première expérience, les seuls actuellement connus, montrent que le rattachement de V_{NBS} à V_{BIPM} , effectué ainsi en un mois environ, confirme pleinement les résultats de la comparaison internationale de 1967. En outre, après le retour des piles à Washington, la force électromotrice d'aucune d'entre elles n'a différé de plus de $0,2 \mu\text{V}$ de la valeur qu'elle avait avant le voyage.

Dans ces deux expériences le colis contenant l'enceinte thermorégulée a voyagé en fret. Dans la seconde il n'était même pas accompagné.

Piles étalons : Groupe de référence du Bureau International

Nous envisageons de modifier bientôt (probablement à l'occasion de la prochaine comparaison des étalons nationaux de force électromotrice) la composition de notre groupe de référence; nous désirons le rajeunir et augmenter le nombre des étalons. Dans cette perspective, nous avons effectué une étude complète de toutes les piles de premier ordre que nous possédons et nous referons la même étude à la veille de la comparaison internationale.

Études courantes

Durant l'année écoulée nous avons déterminé la force électromotrice à 20°C (et parfois 30°C car l'utilisation d'enceintes thermorégulées commence à se répandre) d'une quarantaine de piles et la résistance (généralement à 20°C mais aussi à 15 , 25 , 30 et même 35°C) d'une dizaine d'étalons de diverses valeurs pour les laboratoires suivants: Urad pro Normalizaci (Tchécoslovaquie), Bureau Fédéral des Poids et Mesures (Suisse), Laboratoire Central des Industries Électriques (France), Laboratoire d'Électricité et des Télécommunications (Corée), Norske Justervesen (Norvège), Centre National d'Études Spatiales (France), Matériel Electrochimique (Paris), Société Anonyme Belge de Constructions Aéronautiques (Bruxelles), Institut National des Tests Industriels (Suède), National Physical Research Laboratory (Afrique du Sud).

Comparaison circulaire des étalons de capacité de 10 pF

Le troisième cycle de comparaison, au cours duquel les condensateurs ont effectué le circuit suivant

NBS \rightarrow NPRL (Afrique du Sud) \rightarrow LCIE (Fontenay-aux-Roses) \rightarrow NBS est terminé.

Le N.P.R.L. qui ne dispose pas encore d'un condensateur calculable n'a pu faire que des mesures relatives; quant aux résultats du L.C.I.E. ils ne sont pas encore connus.

Profitant du passage en France des étalons voyageurs nous les avons comparés entre eux, comme nous l'avions fait en mai-juin 1967. Cette comparaison rapide (les condensateurs n'étant restés à Sèvres que quelques

jours) a donné les résultats suivants, à 25 °C, rapportés à la moyenne m des trois condensateurs :

Condensateur	Mai-Juin 1967	Avril 1969
N° 108	$m (1 - 8,77 \times 10^{-6})$	$m (1 - 8,79 \times 10^{-6})$
119	$m (1 + 4,27 \times 10^{-6})$	$m (1 + 4,26 \times 10^{-6})$
120	$m (1 + 4,50 \times 10^{-6})$	$m (1 + 4,53 \times 10^{-6})$

L'évolution des trois condensateurs semble donc identique.
Les deux derniers circuits de comparaison seront les suivants :

NBS → IMM → IEN → NBS
et NBS → PTB → DAMW → NBS

Comparaisons circulaires 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.* Instruments de mesure des faibles puissances à 10 GHz : Les instruments voyageurs sont actuellement en U.R.S.S., à l'Institut des Mesures Physicotechniques et Radiotechniques. Ils retourneront ensuite au Japon pour que l'E.T.L., laboratoire pilote, achève la comparaison.

b. Instruments de mesure des faibles puissances à 3 GHz et paramètres diélectriques à 10 GHz : ces deux comparaisons sont terminées mais les rapports du laboratoire pilote (N.B.S.) ne sont pas encore publiés.

Comparaisons recommandées par le C.C.E. en 1968. — Cinq comparaisons ont été prévues. Les laboratoires pilotes responsables des trois premières (tension à 1 GHz; affaiblissement à 30 MHz; affaiblissement à 10 GHz sur guide d'ondes) se sont déjà mis en rapport avec les laboratoires qui avaient annoncé leur intention de participer à ces comparaisons.

Photométrie (J. Bonhoure, C. Garreau)

5^e comparaison internationale des étalons photométriques

L'année écoulée a été consacrée en majeure partie à la 5^e comparaison des étalons nationaux d'intensité et de flux lumineux. La précédente comparaison remontait à 1961; si l'intervalle de 4 à 5 années n'a pas été respecté, c'est parce que l'expérience a montré que des comparaisons systématiques sans amélioration notable des conditions de mesure représentaient un travail disproportionné avec les enseignements obtenus. Le Comité Consultatif de Photométrie et son Groupe de travail de l'Étalon primaire photométrique ont donc défini, au cours de leurs dernières réunions, comment devrait être organisée la 5^e comparaison (*Comité Consultatif de Photométrie*, 6^e session, 1965, p. P 15) :

— nombre de catégories de comparaisons réduit à trois : étalons d'intensité lumineuse à 2 045 K, étalons d'intensité lumineuse à 2 859 K et étalons de flux lumineux à 2 793 K;

— augmentation importante du nombre de lampes composant chaque groupe national (huit lampes) et le groupe de référence du Bureau International;

- adoption par tous les laboratoires d'un même type de lampe pour chaque catégorie de comparaison;
- spécification du mode de contrôle de l'alimentation électrique des étalons;
- fixation de la durée d'allumage des étalons, préalablement à toute mesure.

Ces conditions ont été en général respectées par les huit laboratoires nationaux qui, traditionnellement, participent à la comparaison. De son côté, le Bureau International a cherché à améliorer la qualité de ses mesures, tout d'abord par une remise à neuf de ses installations (*voir* Rapport de 1968, p. 59), mais aussi par une organisation aussi rationnelle que possible des comparaisons. En particulier, le choix pour chaque catégorie de comparaison d'un nombre de séries égal au nombre de lampes de chaque groupe national, lui-même égal au nombre de laboratoires, a permis d'apporter une très grande symétrie aux comparaisons; de plus, toutes les mesures ont été doublées, avec deux récepteurs photoélectriques différents.

Les résultats définitifs de cette 5^e comparaison internationale ne seront connus qu'après le retour et le contrôle des étalons nationaux dans leur laboratoire d'origine.

Dans l'immédiat, on doit s'en tenir aux constatations qui découlent des mesures faites au B.I.P.M., à savoir que les types de lampes choisis pour les étalons d'intensité lumineuse à 2 045 K et pour les étalons de flux lumineux à 2 793 K sont très stables, tandis que le type retenu pour les étalons d'intensité lumineuse à 2 859 K ne donne pas pleinement satisfaction. L'écart entre les deux mesures photométriques qui correspondent respectivement aux deux récepteurs, n'excède jamais 0,2 % pour chacun des 64 étalons à 2 045 K et, à une exception près, pour les étalons de flux; par contre, cet écart dépasse 1 % pour les étalons d'intensité à 2 859 K. L'examen des caractéristiques électriques des lampes corrobore ces observations.

Depuis la 4^e comparaison internationale (1961) très peu de déterminations de la candela à partir de l'étalon primaire photométrique ont été effectuées; les résultats définitifs de la 5^e comparaison permettront exclusivement de juger de la conservation des unités nationales par des groupes de lampes. La tendance qui se dégage dès maintenant indique une bonne conservation de l'unité d'intensité lumineuse à 2 045 K, et une conservation probablement satisfaisante de l'unité de flux lumineux; pour l'unité d'intensité lumineuse à 2 859 K, on ne peut rien dire encore.

Rayons X et γ

Mesure de l'activité d'une source de ^{60}Co de 1 Ci (A.-M. Roux, P. Bréonce)*

Les travaux effectués cette année permettent de donner maintenant la valeur de l'activité de cette source mise à notre disposition en avril 1966 par le N.R.C., Canada. Les étapes de cette mesure sont :

- la détermination du rapport de l'activité de cette source S (de l'ordre de 1 Ci) à celle d'une source G de mêmes dimensions et ayant une activité d'environ 2 mCi;
- la mesure absolue de l'activité de la source G.

En même temps on a déterminé les rapports de l'activité de la source G à celle de deux autres sources identiques, G_1 et G_2 , d'activités voisines.

Détermination du rapport des activités des sources S et G

1. Rapport N_S/N_G des taux de comptage des sources S et G dans des conditions géométriques définies

a. *Appareillage expérimental.* — Un dispositif de comptage dont la valeur du temps mort est connue a été mis au point : à la sortie de l'amplificateur linéaire les impulsions sont traitées par un discriminateur d'amplitude dont le seuil est réglable finement. Elles sont ensuite acheminées vers une échelle de comptage à travers un dispositif de temps mort constitué d'une bascule bistable à deux entrées et d'une ligne à retard. La stabilité excellente de ce dispositif est celle de la ligne à retard, $7 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$. Pour déterminer le temps pendant lequel s'effectue le comptage on utilise une horloge à quartz. Le comptage des impulsions peut se faire à la fois avec ce dispositif et avec un analyseur à 400 canaux. Ce dernier appareil permet de vérifier l'étalonnage de l'appareillage en amplitude des impulsions et en énergie, pour régler ensuite le seuil du discriminateur d'amplitude à la hauteur d'impulsion correspondant au seuil choisi.

b. *Conditions de mesures et résultats.* — Les distances de chaque source au plan de définition du diaphragme sont respectivement :

$$\begin{aligned} D_S &= (23\,203,475 \pm 0,250) \text{ mm pour la source S} \\ D_G &= (1\,250,520 \pm 0,070) \text{ mm — — — G} \end{aligned}$$

Dans le cas de la source S, le faisceau effectue la plus grande partie de son trajet dans un tube, fermé par des fenêtres en téréphtalate de polyéthylène, où l'on fait le vide; la longueur du trajet dans l'air entre cette source et le plan de définition est $d = 2\,333,5$ mm. Afin d'éviter une correction pour l'atténuation du rayonnement par les fenêtres, on place des fenêtres identiques sur le trajet du faisceau issu de la source G.

La variation du rapport N_S/N_G en fonction du seuil de comptage a été étudiée dans ces conditions. Rappelons la cause de cette variation, expliquée dans le Rapport de 1968, p. 66 : le faisceau émis par chaque source traverse le cristal dans des conditions géométriques différentes. Pour la source G (2 mCi), le faisceau est plus divergent et le nombre de photons incidents qui ne dépensent pas toute leur énergie dans le cristal est relativement plus élevé; en augmentant le seuil, on élimine, dans ce cas, une fraction du nombre de photons incidents plus grande que dans le cas de la source S (1 Ci) où le faisceau est pratiquement parallèle.

Une valeur du rapport N_S/N_G était déterminée en effectuant successivement pour chaque source une série de cinq mesures. Chaque mesure était corrigée pour tenir compte du temps mort, du mouvement propre, et des variations, en fonction de la température et de la pression, de l'atténuation du rayonnement par l'air situé sur le trajet de chaque faisceau. Quinze déterminations de ce rapport ont été ainsi effectuées sur une période de deux mois et pour différentes valeurs du seuil comprises entre 50 et 150 keV. L'écart-type calculé pour une valeur du rapport est de l'ordre de $0,5$ à 1×10^{-3} . Pour un seuil donné, le rapport moyen est connu avec un écart-type compris entre 2 et 4×10^{-4} . Par la méthode des moindres carrés on a établi une relation linéaire entre le rapport N_S/N_G et le seuil s , en affectant

chaque valeur expérimentale d'un poids égal à l'inverse de sa variance. On choisit comme meilleure estimation du rapport N_s/N_G la valeur extrapolée pour $s = 0$, et comme erreur aléatoire la valeur de l'intervalle de confiance à 95 % pour ce point. On a ainsi obtenu :

$$\frac{N_s}{N_G} = 1,0174 \pm 0,0006.$$

2. *Calcul du rapport des activités A_s et A_G des sources S et G*
Ce rapport est :

$$\frac{A_s}{A_G} = \frac{N_s}{N_G} \cdot \frac{D_s^2}{D_G^2} \cdot e^{\mu D'} \cdot \frac{\varepsilon_G}{\varepsilon_s} \cdot \frac{\left(1 + \frac{\Delta\Phi_G}{\Phi_G}\right)}{\left(1 + \frac{\Delta\Phi_s}{\Phi_s}\right)},$$

où

N_s/N_G	rapport des taux de comptage déterminé précédemment;
D_s et D_G	distances de chaque source au plan de définition du diaphragme;
D'	différence des longueurs d'air traversées par les faisceaux correspondant à chaque source;
μ	coefficient d'atténuation par l'air;
$\frac{\Delta\Phi}{\Phi}$	contribution relative due au rayonnement transmis et au rayonnement diffusé par les bords du diaphragme;
ε	efficacité de détection du cristal.

Les valeurs numériques de chaque facteur de cette expression sont données ci-dessous, ainsi que les causes d'erreurs systématiques et leur estimation.

a. *Distances D_s et D_G .* — Les erreurs sur la mesure de D_s et D_G sont négligeables devant les variations de ces distances dues aux variations de température; D_s varie avec la température du mur et D_G avec celle du banc. On a pris comme erreurs les variations de ces longueurs correspondant aux variations extrêmes de température durant la période des mesures des taux de comptage.

Avec $D_s = (23\ 203,475 \pm 0,250)$ mm et $D_G = (1\ 250,520 \pm 0,070)$ mm,

on a $\frac{D_s^2}{D_G^2} = 344,290 \pm 0,027$.

b. *Atténuation par l'air.* — Les valeurs du rapport N_s/N_G étant toujours rapportées aux mêmes conditions de température et de pression, la correction d'atténuation par l'air a été calculée pour ces conditions de référence (23 °C et $1,0135 \times 10^5$ N/m²). L'erreur sur le coefficient d'atténuation μ peut atteindre $\pm 1,5$ %, celle sur la distance $D' \pm 0,5$ %. Il en résulte :

$$e^{\mu D'} = 1,00736 \pm 0,00015.$$

c. *Transmission et diffusion par les bords du diaphragme.* — La correction de transmission par les bords du diaphragme est calculée d'après la formule :

$$\frac{\Delta\Phi}{\Phi} = \frac{21}{\mu'D} + \frac{31}{\mu'^2 D^2} + \frac{41}{\mu'^3 D^3} + \dots$$

μ' étant le coefficient d'atténuation du rayonnement par l'alliage de tungstène constituant le diaphragme et D la distance de la source au plan de définition du diaphragme. Les valeurs calculées sont 0,016 820 pour la source G et 0,000 885 pour la source S. Les expériences décrites dans le Rapport de 1968, p. 65, ont montré que, dans les conditions géométriques de mesure, la contribution due au rayonnement diffusé par les bords est très faible. Elle est négligeable dans le cas de la mesure de la source S; un calcul effectué à l'aide de l'ordinateur du Bureau International permet de l'évaluer à $5,5 \times 10^{-4}$ dans le cas de la source G.

L'erreur sur la correction de diffusion a été négligée. Celle sur la correction de transmission est due à l'erreur (de l'ordre de $\pm 1,5 \times 10^{-2}$) sur la valeur du coefficient d'atténuation par l'alliage de tungstène; il en résulte une erreur de $\pm 2,5 \times 10^{-4}$ sur le rapport des corrections de transmission et diffusion :

$$\frac{\left(1 + \frac{\Delta\phi_G}{\phi_G}\right)}{\left(1 + \frac{\Delta\phi_S}{\phi_S}\right)} = 1,016\ 47 \pm 0,000\ 25.$$

d. Efficacité de détection du cristal. — Les ouvertures des faisceaux à l'intérieur du détecteur étant différentes, les efficacités calculées sont :

$$\varepsilon_G = 0,755\ 82, \quad \varepsilon_S = 0,755\ 78,$$

d'où $\frac{\varepsilon_G}{\varepsilon_S} = 1,000\ 05$, avec une erreur négligeable.

e. Erreurs systématiques sur le rapport N_S/N_G . — 1. Influence des tiges porte-sources. Les matériaux entourant chaque source (tige et encapsulage) n'ayant pas tout à fait la même composition, les atténuations du rayonnement par ces matériaux sont différentes; le calcul indique un écart de 2×10^{-4} ; on doit donc multiplier le rapport N_S/N_G mesuré par 0,999 8 pour en tenir compte. Le détecteur voyant une partie assez longue de la tige portant la source G, l'étude du rayonnement diffusé produit par cette tige a été effectuée en plaçant au-dessus de la source des tiges de duralumin de différents diamètres. Par extrapolation depuis les plus grands diamètres, on estime que le rayonnement diffusé produit par la tige porte-source peut introduire une erreur de $1,5 \times 10^{-4}$.

2. Rayonnement diffusé par les collimateurs délimitant le faisceau. Le rayonnement diffusé par le collimateur limitant le faisceau à la sortie du château de plomb, ainsi que par le collimateur intermédiaire placé plus en avant, est négligeable. Expérimentalement, cette contribution n'a pu être mise en évidence. Des calculs l'évaluent à 5×10^{-5} . On prendra cette valeur comme estimation de l'erreur possible.

Le rapport des activités des sources S et G est finalement :

$$\frac{A_S}{A_G} = 1,017\ 4 \times 0,999\ 8 \times 344,290 \times 1,007\ 36 \\ \times 1,016\ 47 \times 1,000\ 05 = 358,615.$$

Cette valeur est connue avec une erreur systématique estimée à $\pm 7 \times 10^{-4}$ et une erreur aléatoire de $\pm 6 \times 10^{-4}$.

Rapport des activités des sources de 2 mCi

On disposait de trois sources, G, G₁ et G₂, d'activités voisines de 2 mCi; seule la source G a été comparée à S (≈ 1 Ci). Le procédé employé pour la mesure de l'activité de G nécessitant sa dissolution dans l'acide nitrique, il était souhaitable, pour des mesures ultérieures, d'étalonner l'activité des sources G₁ et G₂ par comparaison directe avec la source G avant dissolution.

Le rapport des activités de ces sources a été déterminé par deux méthodes. La première utilise le dispositif de comptage décrit précédemment pour la détermination du rapport N_s/N_G . Les sources G, G₁ et G₂ étaient placées successivement dans la tige porte-source située à 1,25 m du plan de définition du diaphragme. Chaque rapport G₁/G, G/G₂ et G₁/G₂ a été obtenu à partir de la moyenne de cinq mesures sur chaque source; six déterminations indépendantes ont été effectuées pour chaque rapport. On a calculé ensuite les rapports moyens pondérés \bar{R} dont les valeurs sont données dans le tableau II avec leurs écarts-types $s_{\bar{R}}$.

La deuxième méthode est une mesure du courant d'ionisation produit dans une chambre d'ionisation $4\pi\gamma$. Les sources étaient placées successivement au centre de la chambre. Pour éviter de nombreuses manipulations, chaque source était montée dans une tige en plexiglas qui venait se placer dans une position identique à l'intérieur de la chambre. Les activités étant du même ordre, le courant d'ionisation était mesuré dans les mêmes conditions; les corrections pour tenir compte du manque de saturation, du rayonnement diffusé par les parois de la chambre et les objets environnants, et du courant d'ionisation en l'absence de rayonnement étaient aussi les mêmes.

Des thermistances placées sur les parois extérieures et à l'intérieur de la chambre indiquaient les variations de température, atténuées par un isolement thermique extérieur. Les mesures du courant d'ionisation étaient corrigées pour tenir compte des variations de température et de pression à l'intérieur de la chambre.

Du rapport des courants d'ionisation ainsi corrigés on déduit le rapport des activités des deux sources correspondantes. Le défaut de reproductibilité de la position de la source à l'intérieur de la chambre et les différences d'épaisseur des tiges porte-sources entraînent des erreurs systématiques. A un décentrage de la source de 0,1 mm correspond une variation de 1×10^{-4} sur le courant d'ionisation. Pour éliminer l'erreur due aux différences d'épaisseur des tiges, on a comparé pour deux sources les rapports des courants obtenus en permutant les tiges dans lesquelles elles étaient placées.

TABLEAU II

Rapports moyens pondérés \bar{R} des activités des sources G, G₁ et G₂ de 2 mCi

	Compteur à scintillation		Chambre d'ionisation $4\pi\gamma$	
	\bar{R}	$s_{\bar{R}}$	\bar{R}	$s_{\bar{R}}$
G ₁ /G	1,028 17	0,000 42	1,027 85	0,000 05
G/G ₂	1,023 06	0,000 18	1,022 90	0,000 04
G ₁ /G ₂	1,051 91	0,000 26	1,051 35	0,000 03

Chaque détermination d'un rapport d'activités est le quotient des moyennes de dix mesures sur les deux sources considérées. Les valeurs des rapports moyens pondérés \bar{R} données dans le tableau II sont obtenues à partir de dix à vingt déterminations de chaque rapport.

Les résultats obtenus par ces deux méthodes ont été comparés par les procédés statistiques usuels; en choisissant un intervalle de confiance à 95 %, aucun écart significatif n'a pu être mis en évidence.

Détermination de l'activité de la source S

1. *Mesure de l'activité de la source G* (avec A. Rytz, C. Colas, C. Veyradier).

La source G a été dissoute dans 5 g d'acide nitrique concentré. Après dissolution, 10 g d'eau bidistillée ont été ajoutés pour former la solution mère dont la masse M_0 est connue par pesées. Huit dilutions ont été préparées à partir de cette solution mère. La masse m_0 de solution mère utilisée pour chaque dilution était d'environ 250 mg; en ajoutant 10 g d'eau bidistillée on obtenait une solution diluée de masse totale M_1 .

A partir de chaque solution diluée, dix sources ont été préparées par dépôt d'une masse connue m_1 de solution sur un film de Vyns. Après séchage, les sources étaient montées en sandwich entre deux films de Vyns dorés sur un côté. L'activité A de chacune des 80 sources ainsi préparées a été mesurée dans l'ensemble N° 2 de comptage $4\pi\beta\text{-}\gamma$ en effectuant pour chaque source quatre à cinq mesures d'une durée de 1 000 s. On en déduit l'activité de la source G :

$$A_G = A \frac{M_1}{m_1} \frac{M_0}{m_0}$$

Pour chaque solution diluée on a calculé une valeur moyenne de A_G en affectant les valeurs obtenues à partir des mesures de chacune des dix sources d'un poids égal à l'inverse de leur variance. Ces valeurs moyennes et leurs écarts-types sont donnés dans le tableau III.

TABLEAU III

Dilution N°	Activité de la source G (mCi)	Écart-type (mCi)
1	2,055 77	± 0,000 24
2	2,055 46	± 0,000 15
3	2,055 63	± 0,000 12
4	2,055 56	± 0,000 09
5	2,055 32	± 0,000 16
6	2,055 72	± 0,000 17
7	2,055 67	± 0,000 08
8	2,055 54	± 0,000 21
Moyenne	2,055 58	

L'activité de la source G a été d'autre part calculée en faisant la moyenne pondérée des 80 valeurs déterminées pour A_G ; le résultat obtenu (2,055 61) est en accord avec la moyenne des valeurs du tableau III.

En adoptant la moyenne de ces deux résultats, on a finalement pour l'activité de la source G et pour l'écart-type :

$$A_G = (2,055 60 \pm 0,000 06) \text{ mCi le 20 mai 1969, à 11 h 00 T.U.}$$

L'erreur systématique estimée d'après les résultats de la comparaison internationale de ^{60}Co de mai 1967 est 6×10^{-4} .

2. Activité de la source S

De la connaissance du rapport A_s/A_G et de l'activité A_G on déduit :

$$A_s = 737,17 \text{ mCi le 20 mai 1969, à 11 h 00 T.U.}$$

Les erreurs sont estimées à $\pm 6 \times 10^{-4}$ pour l'erreur statistique (qui provient presque exclusivement du rapport N_s/N_G) en choisissant un intervalle de confiance à 95 % et à $\pm 1,3 \times 10^{-3}$ pour l'erreur systématique.

Travaux préparatoires à la détermination de l'exposition dans un faisceau de rayons γ du ^{60}Co à l'aide de chambres à cavité

Ces travaux ont été d'ordre théorique (correction f dans le cas de pertes discontinues d'énergie et correction pour l'épaisseur de la cavité) et d'ordre expérimental (mise en place de la nouvelle source de ^{60}Co et centrage de celle-ci, construction de chambres de graphite et détermination de leur volume).

Calcul de la fonction $f_s(A)$ (M. Boutillon*)

Un problème important dans la mesure des rayons X ou γ est la détermination de l'énergie dissipée par unité de masse en divers points d'une substance irradiée. Cette énergie est généralement déterminée d'après des mesures d'ionisation effectuées dans une petite cavité pratiquée à l'intérieur de la substance.

Spencer et Attix (*Rad. Res.*, 3, 1955, p. 239) ont établi théoriquement le rapport $f_s(T_0, A)$ entre l'énergie par unité de masse dissipée dans la cavité par les électrons produits par interaction des photons et l'énergie dissipée dans la paroi :

$$f_s(T_0, A) = \frac{(Z/A)_{\text{air}}}{(Z/A)_s} \left\{ 1 + \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} R_s(T_0, T) \left[\frac{B_{\text{air}}(T)}{B_s(T)} - 1 \right] dT + \frac{A R_s(T_0, A)}{T_0} \left[\frac{B_{\text{air}}(A)}{B_s(A)} - 1 \right] \right\},$$

où

l'indice s se rapporte à la substance étudiée;

l'indice « air » se rapporte à l'air de la cavité;

Z et A sont respectivement le numéro et la masse atomiques;

$f_s(T_0, A)$ est une fonction de l'énergie initiale T_0 des électrons primaires libérés par les photons X ou γ , et de l'énergie maximale A des électrons secondaires, pour laquelle ces électrons sont supposés perdre leur énergie localement; A est fonction de la forme et des dimensions de la cavité;

$B(T)$ est, à une constante près, le pouvoir de ralentissement;

$R_s(T_0, T)$ représente le rapport entre le débit de fluence total d'électrons (primaires + secondaires) d'énergie T , et le débit de fluence des électrons primaires seuls (l'énergie initiale de ces électrons étant T_0).

Si l'on considère l'ensemble des électrons Compton dont les énergies sont

comprises entre 0 et T_{\max} , on détermine $f_s(\Delta)$ par la relation :

$$f_s(\Delta) = \frac{\int_0^{T_{\max}} \frac{d\sigma_k}{dT} f_s(T, \Delta) dT}{\int_0^{T_{\max}} \frac{d\sigma_k}{dT} dT},$$

où σ_k est le coefficient de transfert d'énergie par effet Compton.

Cette fonction a été calculée pour un spectre d'électrons produits par interaction des photons du ^{60}Co dans le graphite. On en donne les valeurs numériques pour quelques valeurs de Δ dans le tableau IV.

TABLEAU IV
Fonction $f_s(\Delta)$, parois de graphite
($h\nu = 1,25$ MeV)

$\Delta(\text{keV})$	50	25	20	15	10	5	2,5
$f_s(\Delta)$	0,993 4	0,992 6	0,992 3	0,991 9	0,991 3	0,990 1	0,988 5

Correction due à l'épaisseur de la cavité (M. Boutillon*)

L'exposition au centre d'une chambre à cavité est donnée par la relation suivante :

$$(1) X_m = \frac{10^4}{2,58} \frac{dQ_t}{A \rho dz_m} \frac{1}{f} \frac{\sigma_k(1-G)}{\sigma'_k(1-G')} \frac{\rho'}{\rho} \frac{e^{\mu'(z_m-z_1)}}{1 + \left(\mu' + \frac{2}{z_m}\right) \bar{x}'_{pc} r'} (1-k_a)$$

(pour l'établissement de cette formule et la signification des divers termes se reporter à A. Allisy, *Metrologia*, 3, N° 2, 1967, p. 49).

Cette relation a été établie pour une chambre à cavité d'épaisseur infiniment petite. Dans la pratique, cette épaisseur n'est cependant pas toujours négligeable comparée à la distance z_m entre la source et le centre de la chambre (fig. 12) et l'équation (1) doit être légèrement modifiée.

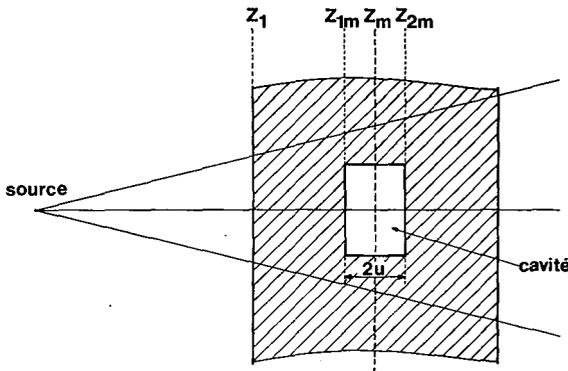


Fig. 12.

Nous nous sommes proposé de calculer la correction à appliquer à cette relation. Pour cela nous avons fait l'hypothèse simplificatrice que la cavité

ne perturbait ni la fluence de photons ni celle des électrons. Les calculs ont été effectués en séparant les contributions qui viennent des parois antérieure et postérieure de la cavité. La fraction de l'énergie dissipée dans la cavité et provenant des électrons produits dans la paroi antérieure est directement liée à la fluence Φ_{1m} de photons qui existe dans le plan z_{1m} en l'absence de substance. De même, la fraction de l'énergie qui provient des électrons produits dans la paroi postérieure est liée à la fluence Φ_{2m} de photons existant dans le plan z_{2m} en l'absence de substance. Dans le cas où l'épaisseur $2u$ de la cavité n'est pas négligeable devant z_m , l'écart entre les fluences Φ_{1m} et Φ_{2m} donne lieu à une correction. La relation donnant l'exposition au centre de la cavité s'écrit alors :

$$(2) \quad X_m = \frac{10^4}{2,58} \frac{dQ_t}{A \rho dz_m} \frac{1}{f} \frac{\sigma_k(1-G)}{\sigma'_k(1-G')} \frac{\rho'}{\rho} \frac{e^{\mu'(z_{1m}-z_1)}}{1+\bar{K}} (1-k_d)$$

avec

$$\bar{K} = \frac{\int_0^{T_{\max}} dT \frac{d\sigma_k}{dT} \left[\left(\mu' + \frac{2}{z_m} \right) \bar{x}'_{pc} r' + \frac{2u}{z_m} \left(1 - 2 \int_{-1}^0 f'_{pc}(x') dx' \right) \right]}{\int_0^{T_{\max}} dT \frac{d\sigma_k}{dT}}$$

où $f'_{pc}(x')$ est la fonction de dissipation de l'énergie des électrons dans la paroi. Les formules (1) et (2) ne diffèrent pratiquement que par les valeurs de \bar{K} . Nous donnons dans le tableau V quelques valeurs de \bar{K} pour différentes valeurs de z_m et de u . On y retrouve, pour $u = 0$, la valeur de \bar{K} correspondant à la formule (1).

TABLEAU V

Valeurs de \bar{K} (en %) pour une chambre à cavité en graphite.
Photons émis par une source de ^{60}Co

u (mm)	$z_m = 1$ mètre	$z_m = 2$ mètres
0	0,86	0,79
1	1,05	0,97
2	1,24	1,16

Mise en place et centrage de la nouvelle source de ^{60}Co (M.-T. Niatel)*

La source de ^{60}Co (≈ 480 Ci) mise à notre disposition par le National Bureau of Standards a été placée dans le château de plomb décrit antérieurement (Rapport 1965, p. 55). La source a été extraite du récipient protecteur et apportée à l'intérieur du château, à l'aide de dispositifs télécommandés, jusqu'à la tige creuse prévue pour la recevoir; la manœuvre était observée à l'abri d'un mur de plomb, à l'aide de miroirs. L'opération ayant duré au total à peu près 3 min, l'exposition dans la région où se trouvaient les opérateurs fut au plus de 90 mR.

L'axe du collimateur placé près de la source peut être matérialisé à l'aide de deux mires munies de réticules. Une lunette est alors réglée de manière à repérer l'axe apparent du collimateur observé à travers 60 cm de verre au plomb placé à l'arrière du château de plomb. Avant la mise en place de la source, la tige porte-source avait été réglée en centrant une réplique de l'enveloppe de cette source. La radiophotographie effectuée

ensuite a montré un centrage correct en hauteur et un décentrage de 0,2 mm en largeur.

Les premières mesures avec cette nouvelle source ont été effectuées à l'aide d'une chambre de transfert du National Bureau of Standards. Le débit d'exposition trouvé correspond à une activité de 479,6 Ci le 4 juillet 1968.

Un banc de mesures a été mis en place et réglé parallèle à l'axe du faisceau; il permet de faire varier facilement la distance source-chambre d'ionisation en conservant un bon centrage.

Chambres à cavité en graphite (M. Boutillon*, M.-T. Niatel*)

Deux chambres de graphite ont été construites successivement; elles sont analogues à la chambre de plexiglas décrite précédemment (Rapport 1967, p. 64), sauf en ce qui concerne le diamètre qui est plus petit (diamètre intérieur ≈ 45 mm) et la liaison entre la plaque collectrice et le câble coaxial de mesure. La deuxième chambre de graphite est de construction plus robuste, la plaque collectrice étant fixée en deux points différents et les faces antérieure et postérieure étant destinées à être collées (et non vissées) sur l'anneau central.

Le volume de ces chambres est déterminé par des moyens mécaniques.

On mesure successivement :

- a) le diamètre intérieur de l'anneau, qui est celui de la cavité, à l'aide du comparateur d'Abbe, selon quatre directions différentes;
- b) l'épaisseur de la cavité, obtenue par différence entre l'épaisseur totale de la chambre et la somme des épaisseurs des faces; ces différentes épaisseurs sont mesurées, avec un comparateur, en une dizaine de points répartis sur chacune des deux faces;
- c) le diamètre de la plaque collectrice comme en a);
- d) l'épaisseur de la plaque collectrice comme en b);
- e) les dimensions du support de la plaque collectrice;
- f) les dimensions des petits volumes au voisinage de la tige qui relie la plaque collectrice et la prise de mesure.

Pour la première chambre on a trouvé un volume de 6 266 mm³ avec une erreur systématique possible estimée de 4 mm³, soit 6×10^{-4} , et une erreur statistique (2s) de 2 mm³, soit 3×10^{-4} . Les mesures concernant la deuxième chambre ne sont pas encore entièrement terminées.

Des mesures d'ionisation sont actuellement en cours avec ces chambres, en particulier l'étude de la saturation à la pression atmosphérique et à une pression plus faible ($\approx 27\,000$ N/m²) en vue de comparer les ionisations massiques à différentes pressions. L'ensemble des études théoriques et expérimentales déjà effectuées ou en voie de réalisation doit permettre la détermination des différentes corrections figurant dans la formule (2), et par conséquent l'utilisation de ces chambres comme étalons de mesure de l'exposition dans un faisceau de rayons γ du ⁶⁰Co.

Influence de la vapeur d'eau sur l'ionisation produite dans l'air (M.-T. Niatel*, D. Carnet)

Une chambre d'ionisation à parois d'air à plaques parallèles est placée dans une cuve étanche. Un circuit branché sur cette cuve comprend une

pompe à circulation de gaz à tuyau flexible, un dispositif desséchant ou humidifiant et l'hygromètre Shaw à point de rosée. Dans la plupart des expériences, le dessèchement a été obtenu à l'aide d'un piège plongé dans un mélange d'alcool méthylique et de glace carbonique. Toutefois les premières expériences de dessèchement total ont été effectuées à l'aide d'anhydride phosphorique placé dans la cuve. On a utilisé un rayonnement X; la tension constante stabilisée appliquée au tube était 50 kV; le rayonnement était filtré par 4 mm d'aluminium. La comparaison des courants d'ionisation obtenus pour une humidité quelconque et pour l'humidité de référence se fait par l'intermédiaire des rapports de ces courants à celui d'une deuxième chambre d'ionisation maintenue à l'humidité de référence (50 % à 21 °C et $p = 101\,325\text{ N/m}^2$). Cela élimine certaines causes de variations à long terme (émission du tube par exemple). Une expérience complémentaire a montré que, dans la limite des incertitudes expérimentales, une variation du champ collecteur de 200 à 60 V/cm produit la même réduction de l'ionisation dans l'air sec et dans l'air humide. Les pertes, de l'ordre de 1 pour mille, dues à la recombinaison des ions dans les conditions de mesure (200 V/cm) sont donc affectées de manière négligeable par la présence de la vapeur d'eau.

La figure 13 donne la variation relative du courant d'ionisation I/I_R en fonction de la pression partielle relative de la vapeur d'eau f/p . Les barres d'erreurs verticales représentent ± 2 écarts-types expérimentaux. Pour les abscisses, l'incertitude $\Delta(f/p)$ est estimée à $\pm 0,5 \times 10^{-3}$ (soit, pour l'humidité relative H , $\Delta H = \pm 2\%$ à 21 °C et $p = 101\,325\text{ N/m}^2$). Les deux méthodes de dessèchement donnent la même valeur $I/I_R = 0,998$ pour $f/p = 0$. Sur cette même figure se trouvent également les courbes théoriques pour différentes énergies de photons du spectre utilisé; elles ont été calculées comme le font Barnard *et al.* (N.P.L., 1960) en supposant que

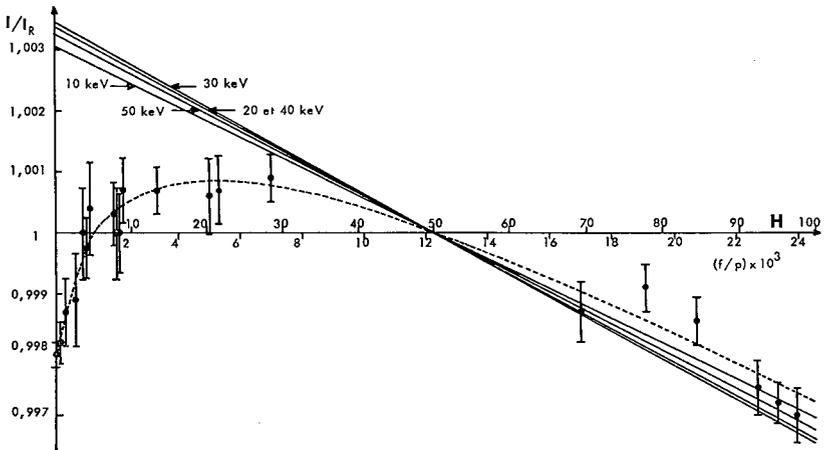


Fig. 13. — Variation relative (I/I_R) du courant d'ionisation en fonction de la proportion de vapeur d'eau contenue dans l'air; (f , pression partielle de la vapeur d'eau; p , pression de l'air humide; H , humidité relative à 21 °C et sous une pression de 1 atmosphère).

- — — — — variation théorique pour différentes énergies;
- - - - - variation expérimentale.

l'ionisation totale est la somme des contributions indépendantes de l'air sec et de la vapeur d'eau. Ces calculs font intervenir l'influence de la vapeur d'eau sur deux phénomènes :

— le transfert d'énergie des photons aux électrons par interactions photoélectriques et Compton;

— la dissipation d'énergie de ces électrons lorsqu'ils ionisent les atomes du mélange gazeux.

On constate que la courbe expérimentale est assez proche des prévisions théoriques pour les humidités moyennes et fortes, mais tout à fait différente pour les humidités faibles.

L'explication la plus vraisemblable est que l'hypothèse des contributions indépendantes de l'air et de la vapeur d'eau en ce qui concerne la dissipation de l'énergie est trop approximative. Il est bien connu que W (énergie moyenne nécessaire pour produire une paire d'ions) ne peut être calculé sur la base de cette hypothèse pour certains mélanges. Les anomalies observées par différents auteurs semblent être de deux types. D'une part un écart variant progressivement avec les proportions du mélange; les électrons perdant leur énergie, le long de leur trajectoire, au profit tour à tour de l'un ou l'autre gaz, il se peut que pour chaque gaz le pouvoir de ralentissement moyen effectif soit, dans ces conditions, différent du pouvoir de ralentissement moyen correspondant à des trajectoires effectuées entièrement dans ce gaz. La variation de W_m pour le mélange serait alors représentée par la formule :

$$(3) \quad \frac{1}{W_m} = \left(\frac{1}{W_1} - \frac{1}{W_2} \right) \frac{p_1}{p_1 + ap_2} + \frac{1}{W_2},$$

p_1 et p_2 étant les pressions partielles des deux constituants et a une cons-

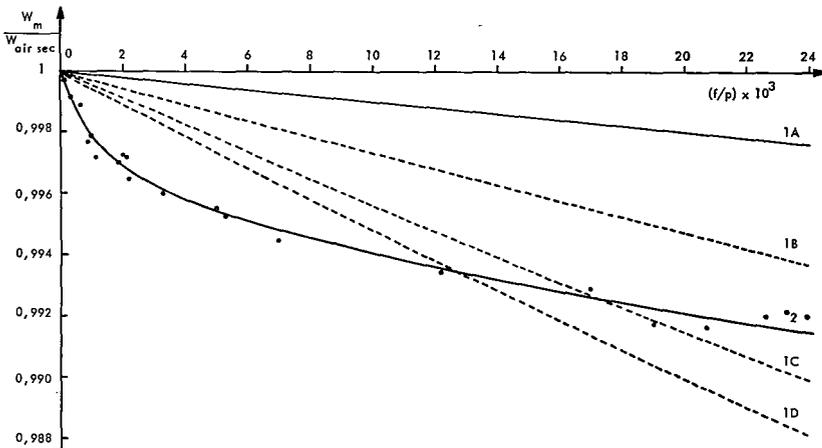


Fig. 14. — Variation relative de W_m , énergie nécessaire pour produire une paire d'ions dans l'air humide, en fonction de t/p .

1. D'après la formule (3) pour $a=1,375$, cas des contributions indépendantes (1 A); $a = 0,5$ (1 B); $a = 0,3$ (1 C); $a = 0,25$ (1 D).

2. D'après les résultats expérimentaux.

tante empirique qui devient égale au rapport des pouvoirs de ralentissement moléculaires dans l'hypothèse des contributions indépendantes. D'autre part, des traces d'impuretés ajoutées à un gaz pur peuvent provoquer un accroissement brusque de l'ionisation. Cet effet est particulièrement marqué avec les gaz rares; il s'explique souvent par la collision des atomes métastables du gaz rare avec des molécules d'impuretés.

La figure 14 indique la variation relative de W_m pour l'air humide

a) d'après la formule (3) pour quelques valeurs de a arbitrairement choisies, et pour $a = 1,375$ qui correspond au cas des contributions indépendantes;

b) d'après les résultats expérimentaux, en supposant correct le calcul du coefficient de transfert d'énergie des photons pour le mélange.

On constate que la courbe expérimentale ne peut être représentée par la formule (3), quelle que soit la valeur de a choisie. Le phénomène observé ici serait plutôt à rapprocher de l'accroissement rapide de l'ionisation dû à de petites quantités d'impuretés.

Radionucléides

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

1. *Participation à la comparaison internationale d'une solution de ^{56}Mn* (avec V. Naggiar, V. D. Huynh*, L. Lafaye). — Le but de cette comparaison entre six laboratoires, organisée par le National Physical Laboratory (Teddington), était d'étudier l'accord possible entre différents laboratoires dans l'étalonnage d'une solution de ^{56}Mn , mesure qui entre dans la détermination absolue du taux d'émission d'une source de neutrons. La période de ce radionucléide n'étant que de 2,6 heures environ, il est préférable que le nombre de participants soit petit. Mais il semble inévitable que quelques-uns reçoivent les échantillons avec retard ou trop tard.

Profitant de la présence simultanée aux États-Unis de représentants de la plupart des laboratoires participants, le promoteur de la comparaison (Argonne National Laboratory) a organisé une réunion improvisée et rédigé un rapport préliminaire. Le rapport final est en préparation.

L'interprétation des résultats obtenus n'est pas entièrement claire à cause des impuretés radioactives et des décalages importants entre les époques auxquelles les différents laboratoires ont effectué les mesures. Néanmoins, on peut constater un accord très satisfaisant. La dispersion de l'ensemble des résultats est de 0,6 % et diminue à 0,25 % si l'on ne tient compte que des mesures effectuées par comptage $4\pi\beta(\text{CP})-\gamma$. Une comparaison graphique des résultats est donnée dans la figure 15. L'écart systématique entre les deux méthodes utilisées n'a pas pu être expliqué.

Malgré quelques problèmes non encore éclaircis, il est permis d'admettre que la mesure absolue du ^{56}Mn peut être faite avec une haute exactitude et qu'une répétition de la comparaison n'est pas nécessaire.

La seule ampoule que nous avons commandée arriva avec un certain retard et fut ouverte immédiatement. Nous avons utilisé environ 2/3 du contenu de l'ampoule pour la préparation de huit sources, sans dilution. Ces sources avaient des masses croissantes, de manière à obtenir des taux

de comptage à peu près égaux à l'heure présumée du comptage de chacune d'elles. Chaque source était mesurée pendant une demi-heure dans chacun des deux ensembles de comptage. Elles avaient été préparées comme d'habitude, en ajoutant un agent mouillant et en les recouvrant d'un deuxième film mince doré. Le reste de la solution fut introduit dans le « bain de manganèse » pour les mesures neutroniques.

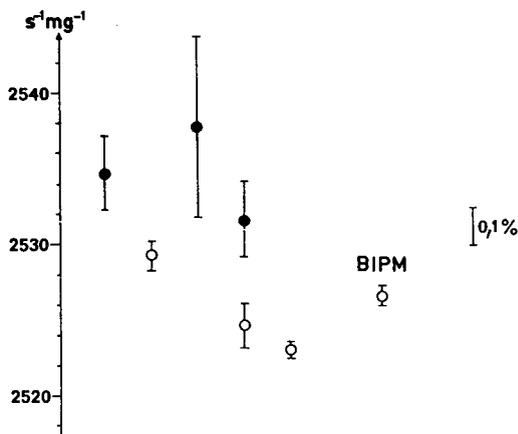


Fig. 15. — Résultats de la comparaison entre six laboratoires d'une solution de ^{56}Mn .

● Méthode du scintillateur liquide.

○ Méthode $4\pi\beta(\text{CP})-\gamma$.

Les barres représentent les écarts-types des moyennes.

2. *Calcul de la correction due au schéma de désintégration du ^{56}Mn .* — Pour calculer le taux de désintégration à partir des taux de comptage β , γ et coïncidences observés, on utilise une formule qui ne tient pas compte de la complexité du schéma de désintégration. Le fait que les efficacités β et γ dépendent des énergies des différentes branches donne lieu à une petite correction que, dans bien des cas, on détermine expérimentalement par un procédé d'extrapolation. Cette expérience serait difficile dans le cas du ^{56}Mn à cause de sa période courte. L'efficacité β étant voisine de 100 %, on sait d'avance que la correction est petite. Nos calculs indiquent qu'elle est de 0,1 % et qu'elle atteint 0,23 % quand la fenêtre, normalement centrée sur le pic photoélectrique du rayonnement γ à 847 keV qu'elle englobe entièrement, est déplacée de la moitié de sa largeur. Nous concluons que cette correction n'est pas entièrement négligeable, mais qu'elle a peu d'importance comparée aux autres erreurs systématiques possibles.

3. *Mesures périodiques des sources étalons de ^{60}Co .* — Les déterminations d'activité par comptage $4\pi\beta-\gamma$ sont considérées comme absolues, au moins pour plusieurs radionucléides spécialement faciles à mesurer. Néanmoins, la complexité du dispositif peut donner lieu à des erreurs systématiques qui échappent facilement à la détection. Il est important de s'assurer du bon fonctionnement du dispositif en mesurant des sources témoins dont on suppose connues l'activité à une date fixe et la période.

Nous avons réservé quatre sources de très bonne qualité, provenant de la

comparaison internationale de la méthode $4\pi\beta(\text{CP})-\gamma$ au moyen du ^{60}Co (1963), que nous considérons comme notre étalon temporaire d'activité. Ces sources sont mesurées à peu près toutes les six semaines et permettent ainsi d'évaluer la fidélité de notre ensemble de comptage. En même temps nous obtenons une mesure de la période du ^{60}Co . Les conditions de mesure ayant été modifiées au cours des années, ces résultats ne sont pas tout à fait concordants. Néanmoins, pour l'ensemble des 45 mesures réparties sur 5,5 ans, la déviation moyenne relative par rapport à la fonction de décroissance n'est que de l'ordre de 0,1 %. En ne considérant que les vingt dernières mesures, plus cohérentes en ce qui concerne les conditions expérimentales, cet écart-type tombe à 0,05 % et on trouve par un test de χ^2 que les résultats sont compatibles avec une distribution normale. La période déduite de ces mesures est en accord avec les résultats les plus récents obtenus dans divers autres laboratoires. Une description plus détaillée paraîtra dans le compte rendu de la réunion de l'American Nuclear Society (voir Publications extérieures, p. 95).

4. *Préparation de sources électrolytiques et étalonnage d'une solution de ^{60}Co .* — L'utilité de sources solides comme étalons de laboratoire et de transfert étant reconnue d'une manière générale, nous avons commencé à préparer un stock de sources électrolytiques de ^{60}Co et de ^{54}Mn . Nous choisirons plusieurs d'entre elles pour remplacer les sources étalons de 1963 qui sont devenues trop faibles.

Pour préparer des sources électrolytiques assez fortes, il était nécessaire d'utiliser une solution de ^{60}Co d'une activité massique élevée. Cette solution était contenue dans une ampoule provenant du Centre d'Études Nucléaires de Saclay. Il est utile de procéder à un étalonnage complet chaque fois qu'une nouvelle ampoule est ouverte, car l'expérience a montré qu'il est difficile de trouver la cause d'un écart éventuel si cet étalonnage n'est pas fait tout de suite après l'ouverture de l'ampoule. Nous avons ainsi préparé quatre dilutions (environ 1/5) et dix sources à partir de chaque dilution. Les résultats des comptages par coïncidences $4\pi\beta-\gamma$ étaient :

Série N°	Activité massique au 1.3.1969 ($\text{s}^{-1}\text{mg}^{-1}$)	Écart-type de la moyenne ($\text{s}^{-1}\text{mg}^{-1}$)
1	585,88	0,05
2	585,85	0,12
3	586,11	0,05
4	586,02	0,13

Moyenne $585,96 \pm 0,05$ (écart-type)

(Le Centre d'Études Nucléaires de Saclay avait donné : $584,5 \pm 5,8$).

Pour l'ampoule de ^{54}Mn un étalonnage semblable est envisagé.

5. *Expériences sur la dilution.* — Dans le Rapport sur la comparaison internationale des méthodes de dilution et de préparation de sources au moyen du ^{60}Co (voir *Recueil de Travaux du B.I.P.M.*, 1, 1966-1967), on trouve plusieurs procédés différents pour obtenir un mélange homogène de la solution active et du diluant. Comme on cherche toujours à réduire au minimum les manipulations des solutions à étalonner, il importe de savoir en quoi consiste ce minimum.

Dans ce but nous avons étudié quelques-uns des procédés décrits, à savoir :

- a) pas d'agitation après adjonction du diluant;
- b) agitation modérée;
- c) agitation et temps d'attente (15 heures);
- d) agitation et inversion de la fiole.

Dans tous ces cas nous avons prélevé de petites quantités de solution diluée près de la surface et près du fond, et préparé une dizaine de sources à partir de chaque prélèvement. Le nombre total de sources mesurées est de 233. Un rapport multicopié (en anglais) intitulé « Quelques expériences sur la dilution de solutions radioactives et l'uniformité du mélange » a été distribué aux laboratoires participant à la comparaison citée plus haut. La conclusion la plus importante est qu'il faut agiter le mélange, et qu'une agitation modérée est suffisante. Les 33 séries de mesures sur ces 233 sources (mesures qui incluent la dilution, la préparation et le comptage des sources) ont en outre confirmé que les résultats sont reproductibles avec un écart-type de 0,055 %.

6. *Mesure absolue de l'activité d'une source de ^{60}Co de 2 mCi.* — Les détails de cette mesure sont décrits p. 71.

7. *Ensemble N° 2 de comptage par coïncidences $4\pi(\text{CP})-\gamma$.* — Cet ensemble a été mis en service dès 1964 et constitue notre équipement principal pour l'étalonnage de radionucléides. Plusieurs parties ont été améliorées ou remplacées, et nous avons trouvé utile d'en donner une description complète qui a été distribuée, sous forme d'un rapport multicopié, aux Groupes de travail intéressés et au Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Radiations Ionisantes.

Ce rapport contient la description d'un dispositif spécial de mesure de temps mort qui est basé sur le principe suivant (fig. 16) : un générateur « triple impulsion » fournit trois impulsions de forme identique déphasables indépendamment l'une de l'autre. La fréquence est celle d'un oscillateur à quartz de 10^7 Hz, divisée par une puissance de 10 (2 à 7 inclus). Ces impulsions sont dirigées vers le circuit dont on veut déterminer le temps mort

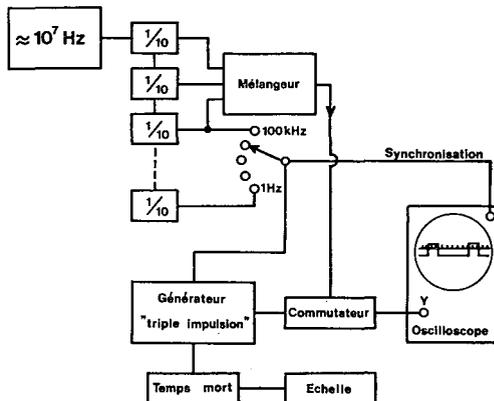


Fig. 16 — Principe du dispositif pour mesurer les temps morts.

et vers l'oscilloscope servant à mesurer les intervalles de temps entre les impulsions. L'oscilloscope est synchronisé avec l'oscillateur. L'intervalle entre deux impulsions est réglé à la limite de passage du comptage simple au comptage double par l'échelle. Cet intervalle représente donc le temps mort recherché et peut être mesuré sur l'écran de l'oscilloscope grâce à un marqueur d'échelle de temps commandé par le même oscillateur. La troisième impulsion peut être utilisée pour étudier l'influence d'une impulsion qui arrive pendant un temps mort et surtout vers la fin de celui-ci. Avec un oscilloscope équipé d'une loupe électronique il est possible de mesurer des temps morts à 10 ns près, ce qui a permis de constater que les temps morts définis par nos nouveaux dispositifs spéciaux sont très stables. Une autre méthode de détermination des temps morts est décrite dans le paragraphe suivant.

Étude de phénomènes aléatoires (J. W. Müller, P. Bréonce, C. Veyradier)

Les recherches dans le domaine des statistiques de comptage ont été poursuivies activement, non seulement sur le plan théorique, mais aussi par de nombreuses expériences. Tandis que quelques études commencées antérieurement ont été complétées ou élargies, d'autres directions nous ont été parfois imposées par des problèmes pratiques auxquels il fallait trouver une solution. C'est en particulier le cas pour la nouvelle méthode absolue de mesure précise des temps morts et pour l'estimation de l'incertitude d'un écart-type.

1. *Superposition de processus de renouvellement.* — Divers problèmes pratiques dans des domaines très différents nécessitent souvent de connaître la répartition des intervalles dans un processus qui résulte lui-même d'une superposition de divers processus élémentaires. Étant donné le grand nombre de telles superpositions rencontrées dans des domaines techniques et scientifiques, de même qu'un récent besoin particulier (nouvelles méthodes pour la mesure des temps morts), il nous a paru justifié de traiter ce problème d'un point de vue plus général que nous l'avions fait antérieurement. La généralisation consiste essentiellement à prendre en considération les intervalles multiples (d'ordre k), dont l'évaluation donne lieu à quelques difficultés de caractère combinatoire à cause du grand nombre de réalisations possibles et des $k - 1$ événements non observés. Toutefois, une formule générale a été trouvée pour la densité d'un intervalle d'ordre k dans une superposition de n processus de renouvellement. Cette expression est assez compliquée, mais elle se réduit aisément à des formules beaucoup plus maniables dans la plupart des cas qui ont un intérêt pratique.

La situation la plus simple est évidemment celle où l'on ne s'intéresse qu'à la densité d'intervalles entre impulsions successives dans une superposition de deux processus originaux ($i = 1, 2$). Si ceux-ci sont caractérisés par des densités d'intervalles $f_i(t)$ avec des taux de comptage μ_i , c'est-à-dire

$$\mu_i^{-1} = \int_0^{\infty} t f_i(t) dt,$$

on obtient pour la densité des intervalles dans la superposition :

$$F(t) = \frac{\mu_1 \mu_2}{\mu_1 + \mu_2} U(t) \{ f_1(t) h_2(t) + 2 g_1(t) g_2(t) + f_2(t) h_1(t) \},$$

où
$$g_i(t) = \int_t^\infty f_i(x) dx \quad \text{et} \quad h_i(t) = \int_t^\infty g_i(x) dx.$$

La fonction échelon unité $U(t)$ élimine les intervalles négatifs.

A titre d'exemple, nous décrivons brièvement une application particulière pour la mesure des radionucléides : on superpose une suite d'impulsions à fréquence fixe $\nu_1 = 1/T$ aux impulsions provenant d'une source radioactive et donnant un taux de comptage $\mu_2 = \rho$. Cette superposition a été proposée récemment pour remplacer l'ancienne méthode des deux sources pour la mesure d'un temps mort (A. P. Baerg, *Metrologia*, 1, 1965, p. 131). Les densités y sont donc :

$$f_1(t) = \delta(t - T) \quad \text{et} \quad f_2(t) = U(t) \rho e^{-\rho t} \equiv f(t),$$

où $U(t)$ est la fonction échelon unité et $\delta(t)$ la « fonction » de Dirac.

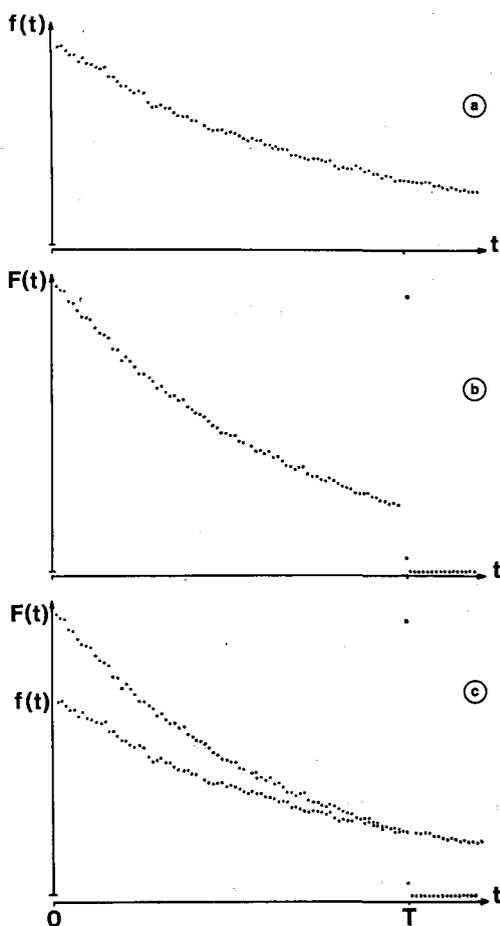


Fig. 17. — Densités d'intervalles.

- a. Pour une seule source.
- b. Après superposition d'une fréquence fixe ($\rho T = 1$).
- c. Superposition photographique de a et b.

Il en résulte pour la répartition des intervalles, après superposition :

$$F(t) = \frac{e}{1 + eT} \left\{ U(t) U(T-t) (2 + e[T-t])e^{-e^t} + \frac{1}{e} e^{-T} \delta(t-T) \right\}.$$

On en déduit que la densité originale $f(t)$ peut être notablement modifiée par les impulsions de l'oscillateur (fig. 17). Ainsi le rapport des ordonnées est, pour $t = 0$:

$$\frac{F(0)}{f(0)} = 1 + \frac{1}{1 + eT},$$

et pour $t = T$:

$$\frac{F(T)}{f(T)} = \frac{2}{1 + eT}.$$

Normalement, la nouvelle répartition $F(t)$ suit toujours, en bonne approximation, une loi exponentielle, mais dont l'exposant est modifié et dépend légèrement de t , car e doit être remplacé maintenant par :

$$e_T(t) = e \left(1 + \frac{1}{2 + e(T-t)} \right).$$

Nos mesures expérimentales des deux densités $f(t)$ et $F(t)$ confirment bien ces prévisions (fig. 17).

Un résumé de la théorie des superpositions, de même que les résultats de quelques applications expérimentales, se trouvent dans un rapport interne (BIPM-107) intitulé « Interval-distributions for superimposed renewal processes ».

Incertitude d'un écart-type. — La nécessité d'estimer « l'écart-type d'un écart-type » se présente dans tous les cas où la variance d'une grandeur mesurée sert non seulement à indiquer la précision d'une valeur moyenne, mais surtout lorsque la variance contient en elle-même l'information recherchée. C'est pourquoi une méthode à la fois simple et générale permettant d'estimer l'erreur d'un écart-type à partir des données mesurées nous a semblé utile.

Admettons que n mesures d'une grandeur x ont été faites. Pour simplifier nous supposons des poids égaux et n grand. Les estimations indiquées ci-dessous seront donc convergentes, mais pas nécessairement sans « biais » pour n petit.

Les moments d'ordre k de la variable aléatoire x , c'est-à-dire

$$m_k(x) = E[x^k],$$

s'estiment à l'aide des moments empiriques

$$\overline{x^k} = \frac{1}{n} \sum_i x_i^k$$

et l'on peut trouver comme estimation de leur variance

$$s^2(\overline{x^k}) = \frac{1}{n} [m_{2k}(x) - m_k^2(x)].$$

Quant à l'écart-type empirique de la valeur moyenne

$$s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} \approx \frac{1}{n} \sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2},$$

il s'ensuit pour son écart-type l'approximation

$$s(s(\bar{x})) \approx \frac{1}{2n} \sqrt{\frac{\mu_4(x) - \mu_2^2(x)}{\mu_2(x)}},$$

où

$$\mu_r(x) = E \{ [x - E(x)]^r \} \approx E \{ (x - \bar{x})^r \}$$

est le moment centré d'ordre r .

On n'a donc besoin que des deuxième et quatrième moments centrés qui, à leur tour, peuvent être estimés à partir de l'échantillon disponible.

Cependant, en admettant que les observations sont réparties suivant un type de distribution connu, ces moments ne sont plus indépendants. Ainsi pour une distribution normale, par exemple, on vérifie aisément la relation

$$\mu_4 = 3 \mu_2^2.$$

Pour quelques-unes des lois de distribution les plus courantes on trouve pour l'erreur relative, définie par

$$R = s(s(x))/s(x) = s(s(\bar{x}))/s(\bar{x}),$$

les estimations suivantes :

Distributions	R
— de Gauss :	
$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(x/\sigma)^2}$	$\frac{1}{\sqrt{2n}}$
— exponentielle :	
$f(x) = qe^{-qx}, \quad x > 0$	$\sqrt{\frac{2}{n}}$
— de Poisson :	
$P(x) = qe^{-q} \frac{q^x}{x!}, \quad x = 0, 1, \dots$	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{1+2q}{nq}}$
— de Bernoulli :	
$P(x) = \begin{cases} p & \text{pour } x = 1 \\ 1-p & \text{pour } x = 0 \end{cases}$	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{1-4p(1-p)}{np(1-p)}}$

Ces problèmes sont aussi traités dans un rapport interne intitulé « Estimation de l'incertitude d'un écart-type ».

2. *Nouvelle méthode pour la mesure des temps morts.* — Les méthodes qui servent couramment à déterminer les temps morts présentent presque toutes un ou plusieurs inconvénients souvent assez gênants; parmi ceux-ci on peut mentionner le manque de précision, la complexité de l'appareillage et la lenteur de la mesure, ainsi que le manque d'informations sur la validité

des hypothèses admises concernant les répartitions originales d'intervalles et le type exact de temps mort. Les temps morts qui sont imposés involontairement (par exemple par un amplificateur), et dont aucun signal électronique ne permet de déterminer la durée, posent parfois des problèmes supplémentaires.

Pour éviter la plupart de ces difficultés, on peut employer un spectre artificiel d'intervalles, et on a avantage à en choisir un qui soit parmi les plus faciles à produire et à calculer. C'est pour cette raison que nous avons proposé de remplacer, dans le dispositif courant de mesure d'un temps mort, les deux sources radioactives par des générateurs d'impulsions périodiques. Les mesures effectuées jusqu'ici par cette nouvelle méthode sont très satisfaisantes.

La superposition des deux suites d'impulsions de fréquences fixes et indépendantes, $\nu_1 = 1/T_1$ et $\nu_2 = 1/T_2$, avec $T_1 < T_2$, donne une densité des intervalles entre impulsions successives :

$$F(t) = \frac{2}{T_1 + T_2} U(t)U(T_1 - t) + \frac{T_2 - T_1}{T_1 + T_2} \delta(t - T_1).$$

La densité est donc constante entre 0 et T_1 , où elle se termine par une « fonction » delta.

Si les impulsions sont superposées à l'entrée d'un dispositif qui impose un temps mort τ et si ν_3 désigne le taux moyen de comptage observé à la sortie, un calcul simple permet d'établir les relations suivantes (fig. 18) :

— avec un temps mort non cumulatif :

$$\nu_3 = \begin{cases} \nu_1 + \nu_2 - 2\tau\nu_1\nu_2 & \text{pour } 0 < \tau < T_1/2 \\ \nu_1 & \text{pour } T_1/2 < \tau < T_1 \end{cases}$$

— avec un temps mort cumulatif :

$$\nu_3 = \begin{cases} \nu_1 + \nu_2 - 2\tau\nu_1\nu_2 & \text{pour } 0 < \tau < T_1 \\ 0 & \text{pour } \tau > T_1 \end{cases}$$

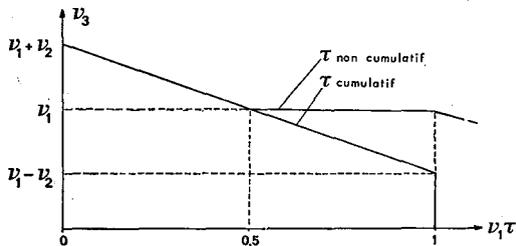


Fig. 18. — Taux mesuré ν_3 en fonction des fréquences ν_1 et ν_2 des deux oscillateurs et du temps mort τ .

Cette méthode permet donc, pour $\nu_1 < 1/(2\tau)$, une détermination du temps mort qui ne dépend pas de son type. Si, pour un temps de mesure t , nous désignons par N_1 et N_2 le nombre d'impulsions produites par les deux générateurs et par N_3 le nombre d'impulsions enregistrées simultanément

à la sortie, le temps mort se calcule par la simple relation exacte

$$\tau = \frac{t}{2} \frac{N_1 + N_2 - N_3}{N_1 N_2}.$$

La répartition des intervalles peut être déterminée aussi pour la séquence modifiée par le temps mort. Les calculs ont été confirmés par des mesures directes; à titre d'exemple, la figure 19 reproduit l'enregistrement d'une telle distribution.

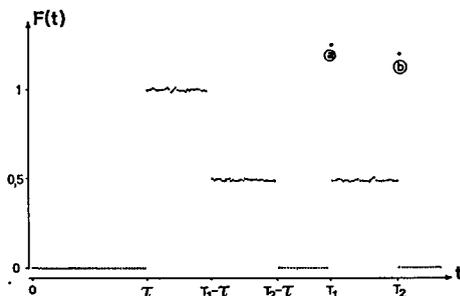


Fig. 19. — Répartition $F(t)$ des intervalles entre impulsions provenant des deux oscillateurs, mais après passage d'un temps mort τ (pour $\tau > T_2 - T_1$).

Les valeurs des paramètres τ , T_1 , T_2 correspondant à cet enregistrement sont indiquées sur l'axe des abscisses; les points isolés a et b correspondent à des « fonctions » δ de Dirac.

La simplicité du dispositif permet une description rigoureuse des phénomènes et les seuls paramètres qui entrent dans la mesure sont des fréquences et la durée de la mesure, évitant ainsi la plupart des incertitudes habituelles. Avec des oscillateurs à quartz l'exactitude sur le temps mort atteint facilement 10^{-3} pour une durée de mesure de quelques minutes.

Mais la propriété la plus remarquable de cette méthode est peut-être qu'elle permet aussi de déterminer d'une manière quantitative le type de temps mort, car pour une fréquence ν_1 comprise dans le domaine $1/(2\tau) < \nu_1 < 1/\tau$ les résultats des mesures en dépendent.

Le rapport $p = \frac{\nu_1 - \nu_3}{\nu_2(2\nu_1 - 1)}$, où τ a été déterminé auparavant dans le domaine inférieur de ν_1 , permet de caractériser le comportement du temps mort. On peut interpréter p comme la probabilité pour qu'une impulsion arrivant pendant un temps mort prolonge celui-ci. La connaissance de p est nécessaire pour l'application d'une théorie plus générale qui comprend non seulement les cas limites d'un temps mort strictement non cumulatif ($p = 0$) ou cumulatif ($p = 1$), mais aussi tous les cas intermédiaires.

Pour plus de détails se reporter aux deux rapports internes « Remarques sur une méthode proposée par Baerg pour la mesure de temps morts » et « Une méthode simple pour mesures précises de temps morts ».

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

La construction du spectromètre magnétique et des diverses installations accessoires étant terminée, le travail de l'année écoulée a concerné surtout

le perfectionnement de certains dispositifs et méthodes, ainsi que les essais de préparation de sources.

1. *Amélioration des dispositifs de stabilisation et de mesure du champ magnétique.* — Après plusieurs réglages et de petites modifications, l'appareil de stabilisation du champ par le signal de résonance du proton s'est montré très sûr et facile à mettre en route. Le champ à l'emplacement de la sonde fixe reste stable à mieux que 2×10^{-6} pendant des journées entières. L'effet des vibrations produites par la pompe turbo-moléculaire a pu être réduit considérablement en changeant la position de la pompe et en garnissant de feuilles de plomb l'entretoise qui sert à caler les parois de la chambre à vide.

A l'aide d'un dispositif indépendant de la stabilisation, on mesure le champ point par point le long des trajectoires semi-circulaires moyennes de chaque groupe de particules α . On a installé un dispositif permettant de définir de façon très reproductible l'axe de rotation de la sonde mobile. Celle-ci a en outre été équipée d'une ampoule scellée en quartz contenant une solution très pure de MnSO_4 de concentration appropriée. L'étanchéité de l'ampoule et de plusieurs témoins a été vérifiée par pesée. La partie électronique de ce dispositif a été améliorée considérablement. Le réglage fin de la fréquence peut être fait à distance et la réaction du fréquencemètre sur l'oscillateur a été supprimée grâce à un amplificateur interposé.

Une expérience spéciale a montré que les composantes à basse fréquence (50 Hz et 300 Hz) ont une amplitude inférieure à un millionième du champ principal et peuvent donc être négligées.

Nous avons amélioré la correction du champ dans la région du plus grand rayon utile. En conséquence, la mesure de la raie du ^{212}Po à 8,8 MeV peut maintenant être effectuée dans des conditions bien meilleures.

2. *Refroidissement de l'électro-aimant.* — Pour diminuer la consommation d'eau de ville nécessaire au refroidissement de l'électro-aimant, nous avons fait installer un réfrigérant atmosphérique qui refroidit l'eau par évaporation d'une faible partie de celle-ci. Les premiers essais ont montré que le refroidissement ainsi obtenu était insuffisant. Comme le réfrigérant atmosphérique fonctionnait convenablement, on pouvait penser que l'échangeur de chaleur était entartré par l'eau de ville; le détartrage que nous avons effectué avec des produits spéciaux n'a pas donné de meilleurs résultats; une légère amélioration a cependant été obtenue en modifiant la circulation de l'eau et, en particulier, en évitant l'accumulation de poches d'air. Le relevé des températures aux différents points importants de l'installation a toutefois montré qu'il est nécessaire d'installer un échangeur plus efficace.

3. *Porte-source du spectrographe.* — Le porte-source, complètement indépendant du spectrographe, a été remplacé; le nouveau dispositif permet de déplacer la source, sensiblement dans son plan, pendant les expériences. La pièce de laiton sur laquelle est fixé le support de source est elle-même supportée par une baguette de céramique piézoélectrique. Une tension électrique appliquée transversalement à cette baguette lui donne une légère courbure. Avec 200 V on obtient un déplacement de la source de 0,5 mm. Un potentiomètre circulaire fermé dont le curseur est mis en rotation par un petit moteur, et dont deux points opposés sont reliés à une alimentation

de 2×200 V, produit un déplacement sensiblement en dents de scie; les inhomogénéités de la source sont ainsi sans influence sur la forme des raies.

Il est important que la source soit centrée sur la perpendiculaire commune à l'axe du spectrographe et au champ magnétique passant par le milieu du bord intérieur de la fente d'entrée. Pour vérifier la position du porte-source par rapport à la fente, nous avons monté sur le porte-fente un détecteur à jonction muni lui-même d'une seconde fente, parallèle à la première, et placée à 30 mm de celle-ci. La fente principale se trouvait donc à mi-distance entre la source et la fente du détecteur. Les deux fentes parallèles étaient alignées sur la perpendiculaire commune à l'axe du spectrographe et au champ. Une source forte, mais fine, était ensuite placée dans le porte-source et on observait le taux de comptage en fonction de la position de la source, après avoir évacué la chambre à vide. Comme cette expérience était faite sans champ magnétique, la position correspondant au taux maximal n'était pas exactement celle que les sources doivent occuper. Il faut les déplacer encore d'environ 1 mm vers le porte-plaque pour tenir compte de la courbure des trajectoires.

4. *Sources pour mesures absolues d'énergie.* — La préparation de telles sources risquant d'entraîner une contamination à vie longue du laboratoire, nous avons aménagé un petit laboratoire spécial en dehors des bâtiments. Dans une roulotte équipée à cet effet, nous avons installé un évaporateur destiné uniquement à la volatilisation de matières radioactives. Il comporte une pompe à palettes et une pompe à diffusion de mercure avec les vannes et jauges nécessaires. La platine est munie de plusieurs traversées électriques, dont deux pour le chauffage des nacelles en tantale renfermant le corps radioactif à volatiliser. La relation entre la température de la nacelle et le courant de chauffage a été établie à l'aide d'un pyromètre optique.

Nous avons acheté une préparation de 20 mCi de ^{228}Th sur résine échangeuse d'ions que nous avons introduite dans un pot d'activation en laiton fortement doré à l'intérieur. Le pot avec son écran de plomb de 5 cm d'épaisseur se trouve à l'intérieur d'une boîte à gants gonflable. Un joint conique en verre permet d'introduire dans le pot d'activation le support de source qu'on veut activer et d'y appliquer une tension continue de quelques centaines de volts. Le thoron émane de la préparation et ses dérivés se fixent, sous l'influence du champ électrique, sur le support qui devient ainsi une source de rayonnement α avec les émetteurs ^{212}Bi et ^{212}Po . Pour mesurer grossièrement l'intensité de ces sources nous avons installé une jonction munie d'un diaphragme approprié dans un support qui maintient la source à distance fixe. Une activation dure de quelques heures à quelques jours. Les activités obtenues ne dépassaient pas 120 μCi , ce qui est trop faible pour une volatilisation ultérieure. Nous étudions actuellement comment ce rendement peut être augmenté.

5. *Plaques nucléaires.* — L'émulsion de ces plaques contient une quantité importante d'eau qui est la cause d'un allongement sensible du temps de pompage. Nous avons construit une boîte étanche à la lumière, mais non à l'air, dans laquelle six plaques peuvent être desséchées par un pompage préalable.

Pour bénéficier pleinement des avantages de la plaque photographique

utilisée comme détecteur de particules chargées, il est important d'adapter les conditions de développement et de fixation aux particules à observer. Il faut trouver un compromis entre un développement appelé « chimique » et qui n'agit que sur les grains exposés indépendamment de leur densité ou de la proximité du bord de la plaque, et un développement « physique » où les grains agglomérés sont plus élargis que les grains isolés. Une formule satisfaisante a pu être trouvée pour les traces de particules α . En revanche, les traces d'atomes de recul que nous espérons observer dans des cas particuliers posent des problèmes plus délicats, car elles se trouvent toujours à la surface de l'émulsion et leur visibilité dépend fortement de la qualité de fabrication des plaques.

Nous avons trouvé utile d'ajouter un durcisseur dès le premier bain photographique pour empêcher que l'émulsion se déforme.

Le comptage des traces est effectué à l'aide d'une optique sans immersion et avec un grossissement de 660. Pour voir plus de détails nous disposons d'un objectif à immersion permettant d'obtenir un grossissement total de 1 155. Les opérations du comptage ont pu être rendues plus sûres et moins astreignantes en utilisant un magnétophone qui permet à l'observateur d'enregistrer ses observations sans être obligé de les interrompre.

6. *Expériences.* — Le Centre de Spectrométrie Nucléaire et de Spectrométrie de Masse à Orsay a préparé pour le Bureau International, par volatilisation, une source de ^{223}Ra et une source de ^{224}Ra que nous avons utilisées plusieurs fois. Les mesures n'ont malheureusement pas eu lieu dans les meilleures conditions et les résultats ne sont pas satisfaisants. Nous avons reconnu la nécessité de préparer nous-mêmes nos sources et d'avoir la possibilité d'en utiliser un grand nombre l'une après l'autre. Sept sources de $^{212}\text{Bi} + ^{212}\text{Po}$ ont déjà fait l'objet de mesures dont les résultats sont exposés dans une publication séparée (*voir Publications extérieures*, p. 95).

Pour l'énergie du rayonnement du ^{212}Bi , on a obtenu les valeurs moyennes et les écarts-types suivants :

$$\begin{aligned}\alpha_0 &= (6\,090,06 \pm 0,08) \text{ keV} && (7 \text{ mesures}) \\ \alpha_{40} &= (6\,050,77 \pm 0,07) \text{ keV} && (5 \text{ mesures}).\end{aligned}$$

Le problème le plus difficile à résoudre consiste à rassembler suffisamment d'activité sur une petite surface sans y ajouter d'impuretés. La plus grande partie de nos efforts devra se concentrer sur les problèmes de préparation des sources.

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

Les mesures effectuées au laboratoire des mesures neutroniques ont porté d'une part sur les sources de neutrons Ra-Be (α, n) et Ra-Be (γ, n), et d'autre part sur la source de neutrons D(d, n) ^3He .

Sources Ra-Be (α, n) et Ra-Be (γ, n)

Amélioration de la précision dans la méthode de mesure de l'activité des solutions de sulfate de manganèse. — Nous utilisons maintenant le comptage au-dessus du seuil de 30 keV, au lieu du seuil de 750 keV utilisé antérieurement.

ment, pour la mesure de l'activité de ces solutions. Les variations de seuil, dans ces nouvelles conditions, correspondent à une variation de comptage inférieure à 2×10^{-4} . Comparée à l'ancienne méthode, la précision est augmentée d'un facteur 5. Dans l'état actuel de nos mesures, l'activité des solutions de sulfate de manganèse contenues dans chacune des sphères est déterminée à mieux que 0,1 %. L'efficacité de détection est augmentée d'un facteur 8. Comme il n'est plus nécessaire de relever le spectre pendant la mesure, les comptages peuvent être enregistrés automatiquement.

Analyse nucléaire des solutions de sulfate de manganèse. — Nous disposons de deux sphères contenant une solution de sulfate de manganèse : l'une (diamètre 1 m) sert à mesurer le taux d'émission de neutrons de la source Ra-Be (α, n), l'autre (diamètre 0,50 m) sert à mesurer le taux d'émission de neutrons de la source Ra-Be (γ, n). La solution de la sphère de 1 m a été préparée en mai 1962 et la solution de la sphère de 0,50 m en juillet 1968; la pureté du sulfate de manganèse était garantie par le fournisseur (Merck, Darmstadt). Dans les deux cas le sel a été dissous dans de l'eau déminéralisée dont la résistivité élevée était contrôlée. Cependant, nous avons constaté, en novembre 1968, une différence de 0,8 % dans l'activité à saturation produite par une même source de neutrons (γ, n) dans une même géométrie (sphère de 0,50 m) avec chacune des deux solutions. Pour lever le doute sur la pureté du produit et sur la pureté nucléaire de l'eau utilisée, une troisième solution a été préparée avec une nouvelle livraison de sulfate de manganèse du même fournisseur; le sel a été dissous dans de l'eau bidistillée préparée au Bureau International. On a construit un dispositif qui permet d'activer 5 l de solution par la source (α, n) dans de bonnes conditions de reproductibilité. La mesure d'activité du ^{56}Mn est effectuée dans un château de plomb à l'aide d'un scintillateur NaI. La fidélité des mesures est meilleure que 0,1 %. La comparaison du taux de capture des neutrons des trois solutions dans le ballon de 5 l a donné :

Solution 1	(sphère de 1 m)	52 807 s ⁻¹
Solution 2	(sphère de 0,50 m)	53 224 s ⁻¹
Solution 3	(nouvelle solution)	53 235 s ⁻¹

Il se confirme que la solution 1 contient une impureté entraînant un facteur de correction de 1,008 sur le taux d'émission des sources de neutrons mesuré dans la sphère de 1 m. Des analyses chimiques des différentes solutions sont en cours.

Étalonnage de la mesure d'activité dans les sphères. — Une comparaison internationale restreinte a été organisée par le N.P.L. en septembre 1968 sur les mesures d'activité massique du ^{56}Mn par comptage en coïncidences $4\pi\beta\text{-}\gamma$. Le groupe de radioactivité du Bureau International ayant pris part à cette comparaison (voir p. 78), nous avons pu utiliser une partie de la solution distribuée pour effectuer un étalonnage de la mesure d'activité dans la sphère de 1 m avec seuil à 750 keV. Le résultat de cette mesure s'accorde bien avec la valeur de la constante d'étalonnage obtenue en janvier 1968 :

Janvier 1968	532,5 s ⁻¹	} pour 10 ⁶ désintégrations par seconde
Septembre 1968	532,3 s ⁻¹	

Un nouvel étalonnage a été effectué le 14 novembre 1968 avec du manganèse-

élément irradié à la pile EL3 de Saclay. En utilisant notre nouvelle méthode de comptage avec seuil à 30 keV, nous avons obtenu les nouvelles constantes d'étalonnage suivantes :

$$\left. \begin{array}{l} \text{sphère de 1 m} \quad 4\,409,3 \text{ s}^{-1} \\ \text{sphère de 0,50 m} \quad 22\,236 \text{ s}^{-1} \end{array} \right\} \text{ pour } 10^6 \text{ désintégrations par seconde}$$

Source Ra-Be (α , n) de 200 mCi du B.I.P.M. — Le tableau suivant montre la cohérence des mesures sur le taux d'émission de cette source depuis décembre 1963. Q/k est le taux d'émission des neutrons au facteur de correction k près, $n_{\text{H}}/n_{\text{Mn}}$ est le rapport des concentrations atomiques en hydrogène et en manganèse, et F le rapport du nombre des neutrons capturés par les noyaux de Mn au nombre des neutrons capturés par tous les éléments de la solution. Les résultats sont ramenés au 1^{er} janvier 1969.

Date	$n_{\text{H}}/n_{\text{Mn}}$	$1/F$	Q/k (10^6 s^{-1})
4.12.1963	$39,28 \pm 0,06$	2,011 27	$3,07 \pm 0,04$
29. 4.1964	$38,396 \pm 0,02$	1,989 39	$3,110 \pm 0,016$
31. 1.1968	$38,405 \pm 0,005$	1,989 61	$3,105 \pm 0,009$
11. 9.1968	$38,412 \pm 0,002$	1,989 78	$3,112 \pm 0,009$
14.11.1968	—	—	$3,109 \pm 0,006$

Pour le calcul du taux d'émission Q de la source, nous appliquons les corrections suivantes :

auto-absorption	$1,003 \pm 0,002$
perte hors de la solution	$1,008 \pm 0,003$
impuretés de la solution	$1,008 \pm 0,001$
absorption par l'oxygène et le soufre	$1,029 \pm 0,005$

d'où

$$Q[\text{Ra-Be}(\alpha, n)]_{200 \text{ mCi}} = (3,253 \pm 0,03) \times 10^6 \text{ s}^{-1} \text{ (novembre 1968);}$$

l'erreur de $\pm 0,03 \times 10^6$ résulte de l'addition des erreurs de mesure et des erreurs relativement importantes sur l'évaluation des diverses corrections ci-dessus.

Source Ra-Be (γ , n) de 500 mCi du B.I.P.M. — Pour obtenir le taux d'émission de cette source, nous avons calculé la correction d'auto-absorption (1,004 7) d'après la constitution de la source et le flux thermique déduit d'un travail de Ryves (1964) :

$$Q[\text{Ra-Be}(\gamma, n)]_{500 \text{ mCi}} = (4,470 \pm 0,013) \times 10^5 \text{ s}^{-1} \text{ (février 1969).}$$

Comparaison des mesures au N.P.L. et au B.I.P.M. du taux d'émission de la source Ra-Be (γ , n) de 400 mCi N° 2 C du N.P.L. — Sur notre demande le N.P.L. nous a envoyé sa source de neutrons étalon secondaire N° 2C. En utilisant les mêmes sections efficaces et la même correction pour la résonance que le N.P.L., nous avons obtenu le résultat suivant, comparé à celui du N.P.L., en février 1969 :

	B.I.P.M.	N.P.L.
$Q[\text{Ra-Be}(\gamma, n)]_{400 \text{ mCi}} =$	$(1,676 \pm 0,007) \times 10^5 \text{ s}^{-1}$	$1,663 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$

La différence entre ces deux résultats, de l'ordre de 1 %, apparaît significative. Le N.P.L. envisage d'effectuer une nouvelle mesure de cette source.

Mesure du taux d'émission des sources de neutrons par la mesure de l'activité de la solution dans une enceinte hors de la sphère par circulation permanente de liquide irradié. — La méthode a été décrite dans le Rapport de 1968, p. 78. Actuellement, il existe un écart de 0,3 % 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. Aucune hypothèse plausible n'a pu être admise jusqu'ici pour expliquer ces résultats.

Mesure de la période du ^{56}Mn . — En utilisant le dispositif de comptage qui nous sert à contrôler la pureté nucléaire des solutions, les conditions expérimentales sont plus favorables pour la mesure de la période de décroissance du ^{56}Mn : le mouvement propre est réduit d'un facteur 3 par rapport à la sphère de 1 m, ce qui permet de suivre les mesures pendant six périodes (soit environ 900 minutes); d'autre part, le dispositif électronique plus élaboré qui définit le temps mort appliqué avant l'échelle de comptage est fidèle à mieux que 10^{-3} , le temps mort étant défini par une ligne à retard.

Nous disposons actuellement de quatre mesures de décroissance du ^{56}Mn . La période est calculée par itération et par la méthode des moindres carrés, à l'aide de notre ordinateur, en partant de la valeur généralement admise dans la littérature (2,578 0 h).

Il est clair que la précision de la mesure de la période est liée à la précision de la mesure du temps mort. La fidélité de celui-ci nous assure des mesures de période reproductibles, comme le montre le tableau des résultats ci-dessous; il reste à vérifier que le temps mort effectif de l'ensemble de détection correspond au temps mort mesuré directement, et qu'il est indépendant du temps de comptage.

Temps mort	Période mesurée (h)				
(μs)	(1)	(2)	(3)	(4)	Moyenne
11,39	2,578 2	2,577 5	2,577 8	2,578 8	2,578 1
	$\pm 0,000 3$	$\pm 0,000 4$	$\pm 0,000 4$	$\pm 0,000 3$	
11,35	2,578 3	2,577 9	2,578 0	2,579 1	2,578 3
	$\pm 0,000 3$	$\pm 0,000 4$	$\pm 0,000 4$	$\pm 0,000 3$	

La valeur du temps mort, mesurée directement, est de 11,35 μs ; la valeur 11,39 μs est celle qu'on obtient par une méthode des moindres carrés, à partir des comptages.

Masse volumique des solutions de sulfate de manganèse. — En vue d'une éventuelle mesure du rapport des sections efficaces de capture des neutrons par le manganèse et l'hydrogène par une méthode d'absorption dans des solutions de sulfate de manganèse dont on fera varier la concentration, il sera nécessaire de déterminer souvent le rapport $n_{\text{H}}/n_{\text{Mn}}$ des concentrations atomiques en hydrogène et en manganèse. Pour éviter des mesures longues et délicates, on s'est proposé de repérer le rapport $n_{\text{H}}/n_{\text{Mn}}$ de chaque solution par la mesure de sa masse volumique. Les pesées sont effectuées à 0,1 mg près sur une balance Mettler H15. Une boîte en acier inoxydable munie d'un couvercle percé d'un trou de 2 mm contient la solution. Une masse de 75 g en acier inoxydable poli, suspendue par un fil d'acier inoxy-

dable de 0,2 mm de diamètre au fléau de la balance, est pesée successivement dans l'air, dans l'eau et dans la solution de sulfate de manganèse. La reproductibilité des mesures est de 10^{-4} et sera suffisante pour le but qu'on se propose (une variation de 10^{-4} sur la masse volumique correspond à environ 4×10^{-4} sur n_H/n_{Mn} , ou 2×10^{-4} sur le taux d'émission de la source). Voici, à titre d'indication, les résultats obtenus :

Solution	n_H/n_{Mn}	Masse volumique ρ à $(19,4 \pm 0,1)^\circ\text{C}$ (kg/m^3)
1	38,412	$1\ 359,9 \pm 0,1$
2	38,961	$1\ 356,0 \pm 0,2$
3	39,337	$1\ 353,0 \pm 0,1$

Une mesure précise de la masse volumique de la solution 1, effectuée à la balance hydrostatique du Bureau (voir p. 52), a donné :

$$\rho = 1\ 358,98\ \text{kg/m}^3\ \text{à}\ 22,175\ ^\circ\text{C}.$$

En admettant pour la solution de sulfate de manganèse un coefficient de dilatation égal à celui de l'eau, la valeur de ρ donnée dans le tableau ci-dessus pour la solution 1 devient $1\ 359,3\ \text{kg/m}^3$ à $22,2\ ^\circ\text{C}$, en assez bon accord avec la valeur précise obtenue à la balance hydrostatique.

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

Les mesures antérieures de débit de fluence de neutrons produits par un faisceau atomique de deutons avaient été effectuées dans la direction à 24° du faisceau de deutons, correspondant à l'observation des ^3He à 150° . Des résultats concordants avaient été obtenus par deux méthodes : comptage de la particule ^3He associée à l'émission du neutron et détection du neutron par proton de recul dans un scintillateur hydrogéné (Rapport de 1968, p. 79). Nous poursuivons actuellement les mesures de débit de fluence de neutrons avec observation des ^3He à 90° . Pour cette direction d'observation l'erreur sur l'énergie moyenne des deutons n'intervient qu'au second ordre (0,3 % pour $\Delta E_a = 5\ \text{keV}$) dans la confrontation des deux méthodes de mesure de fluence.

Les résultats obtenus devraient donc être plus précis. Cependant, les premières mesures semblent indiquer une discordance de l'ordre de 10 % entre les deux méthodes. Une étude est en cours pour déceler l'origine de ce désaccord.

* * *

Publications

Publications du Bureau (H. Moreau)

Depuis octobre 1968, le Bureau a publié :

1° *Comptes rendus des séances de la Treizième Conférence Générale des Poids et Mesures* (1967-1968).

2° *Comité Consultatif de Thermométrie*, 8^e session (1967), avec 18 annexes.

3° *Échelle Internationale Pratique de Température de 1968*, avec ses Tables de référence déduites de la fonction de référence $W_{\text{CCT-68}}(T_{68})$ pour les

thermomètres à résistance de platine dans le domaine compris entre 13,81 K et 273,15 K. (Le texte de l'Échelle est également publié en annexe des Comptes rendus de la 13^e Conférence Générale et de la 8^e session du Comité Consultatif de Thermométrie; le texte en anglais est publié dans *Metrologia*, 5, n° 2, 1969, p. 35).

4° Trois rapports multicopiés :

— Compte rendu de la comparaison internationale d'une solution de ⁵⁴Mn (avril 1965), édité par H. M. Weiss (30 octobre 1968, 34 pages).

— Some experiments on the dilution of radioactive solutions and the uniformity of mixing, par A. Rytz, P. Bréonce et C. Veyradier (27 janvier 1969, 8 pages).

— Interval-distributions for superimposed renewal processes, par J. W. Müller (Rapport BIPM-107, mars 1969, 22 pages).

Ces trois rapports seront publiés dans le *Recueil de Travaux du B.I.P.M.*, Volume 2.

Les comptes rendus de la 57^e session (1968) du Comité International sont en cours d'impression; ceux de la 11^e session (1968) du Comité Consultatif d'Électricité et de la 2^e session (1969) du Comité Consultatif des Unités sont en préparation.

Le Bureau International a participé à la « Biennale Internazionale delle Pubblicazioni Scientifiche » organisée en septembre 1968 à Bologne, en présentant quelques exemplaires récents de ses publications (Conférence Générale, Procès-Verbaux, Comités Consultatifs, Recueil de Travaux) et de *Metrologia*.

Publications extérieures

TERRIEN (J.), The manner in which progress is made in the standards for physical measurement, *Metrologia*, 4, N° 4, 1968, pp. 190-195.

TERRIEN (J.), News from the Bureau International des Poids et Mesures, *Metrologia*, 5, N° 2, 1969, pp. 68-71.

TERRIEN (J.), Les étalons physiques des Unités SI. In « Conférence internationale P.E.R.A. : L'application pratique des Unités SI », Bruxelles, 24-25 juin 1969, 3 pages.

TERRIEN (J.), Réflexions sur l'état actuel des grandeurs, des unités et des étalons photométriques, *Rev. Gén. Électricité*, 78, N° 11, 1969, pp. 997-1000.

BONHORE (J.), Comparaison internationale des échelles radiométriques, *Rev. Gén. Électricité*, 78, N° 11, 1969, pp. 1001-1007.

RYTZ (A.), International comparisons of calibrated radionuclide sources, *Nat. Bureau of Standards Special Publication* 331, 1970, pp. 25-36.

GRENNBERG (B.) et RYZT (A.), Nouvelles déterminations absolues de l'énergie de particules alpha, *C.R. Acad. Sci.*, 269-B, 1969, pp. 652-654.

LECLERC (G.), Le rôle du Bureau International des Poids et Mesures dans le domaine des unités électriques, *Rev. Gén. Électricité*, 78, N° 3, 1969, pp. 261-268; *Rev. Métrologie Pratique et Légale*, 1969, N° 3, pp. 191-201.

BOUTILLON (M.), HENRY (W. H.) et LAMPERTI (P. J.), Comparison of exposure standards in the 10-50 kV X-ray region, *Metrologia*, 5, N° 1, 1969, pp. 1-11.

NIATEL (M.-T.), Étude expérimentale de l'influence de la vapeur d'eau

sur l'ionisation produite dans l'air, *C.R. Acad. Sci.*, **268-B**, 1969, pp. 1650-1653.

Rapports internes

Vingt-et-un rapports, qui constituent essentiellement des documents de travail, ont été préparés par le personnel ⁽⁵⁾ :

— Notes techniques sur quelques sous-programmes de précision étendue « améliorée » pour l'ordinateur IBM 1130, par P. Carré (janvier 1968, 8 pages; février 1968, 2 pages; octobre 1968, 3 pages; janvier 1969, 3 pages).

— Notice d'utilisation des sous-programmes de calcul en précision étendue « améliorée », par P. Carré (octobre 1968, 2 pages; février 1969, 2 pages).

— Masse volumique du mercure en fonction de T_{68} , par P. Carré (janvier 1969, 4 pages).

— Notice d'utilisation des sous-programmes de calcul en double précision, par P. Carré (février 1969, 2 pages).

— Mémento des sous-programmes B.I.P.M., mis à jour périodiquement, par P. Carré (dernière mise à jour : mars 1969, au total 6 pages).

— Description de l'ensemble N° 2 de comptage par coïncidences $4\pi(\text{CP})-\gamma$ utilisé au B.I.P.M., par A. Rytz, P. Bréonce et C. Veyradier (20 février 1969, 28 pages).

— On the interval-distribution for recurrent events with a non-extended dead time, par J. W. Müller (Rapport BIPM-105, novembre 1967, 7 pages).

— Influence de deux temps morts successifs sur le taux expérimental, par J. W. Müller (Rapport BIPM-68/3, mars 1968, 2 pages).

— On the influence of two consecutive dead times, par J. W. Müller (Rapport BIPM-106, mars 1968, 7 pages).

— Proposition d'une nouvelle méthode pour mesurer des coïncidences, par J. W. Müller (Rapport BIPM-68/4, avril 1968, 3 pages).

— Sur la répartition du rapport de deux variables aléatoires et sa simulation par Monte Carlo, par J. W. Müller (Rapport BIPM-68/5, juin 1968, 5 pages).

— Remarques sur une méthode proposée par Baerg pour la mesure de temps morts, par J. W. Müller (Rapport BIPM-68/8, novembre 1968, 3 pages).

— Une méthode simple pour mesures précises de temps morts, par J. W. Müller (Rapport BIPM-69/3, janvier 1969, 3 pages).

— A note on the analysis of the thermal neutron flux intercomparison, par J. W. Müller (Rapport BIPM-69/7, avril 1969, 2 pages; même texte en français, 3 pages).

— Estimation de l'incertitude d'un écart-type, par J. W. Müller (Rapport BIPM-69/8, avril 1969, 2 pages).

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

Certificats et Notes d'étude

Pendant la période du 1^{er} septembre 1968 au 31 août 1969, 38 Certificats et 2 Notes d'étude ont été délivrés.

CERTIFICATS

1968

N°		
20.	Kilogramme en acier inoxydable	Bureau Central des Mesures Nucléaires, Geel.
21.	Quatre fils de 24 m, N ^{OS} 460 à 463, et un fil de 8 m, N° 471 (addition)	Mission Géographique de l'Angola, Nova-Lisboa.
22.	Quatre étalons de force électromotrice, N ^{OS} 7501, 7503, 7506 et 7508 (addition) ..	Det Norske Justervesen, Oslo.
23.	Six étalons de force électromotrice, N ^{OS} 6645, 6649, 6704, 6705, 6708 et 6869	Laboratoire d'Electricité et des Communications, Séoul.
24.	Etalon de 1 ohm, N° 1 217 771	id.
25.	Masse en platine de 1 g (addition)	Laboratoire National d'Essais du Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris.
26.	Masses en platine de 10, 5 et 1 mg	id.
27.	Masses en uranium de 20 et 10 g	id.
28.	Deux fils de 24 m, N ^{OS} S 513 et S 514 (addition)	Société Française de Stéréotopographie, Paris.
29.	Ruban de 20 m SIM-INVAR, N° 1 (addition) ..	Ministère de l'Industrie, Paris.
30.	Etalon de force électromotrice, N° 7444 ...	Matériel Electro-Chimique, Paris.
31.	Quatre étalons de force électromotrice	Centre National d'Etudes Spatiales, Brétigny-sur-Orge.

1969

N°		
1.	Deux étalons de 1 ohm, N ^{OS} 1 617 922 et 134 900 MF 01 (addition)	Société Anonyme Belge de Constructions Aéronautiques, Bruxelles.
2.	Etalon de 0,1 ohm, N° 134 899 MF 01 (addition)	id.
3.	Trois étalons de force électromotrice, N ^{OS} 378 257 B, 378 322 et 378 351 (addition)	id.
4.	Trois étalons de 1 ohm, M. 3082, M. 3084 et M. 3090	Centre National d'Etudes Spatiales, Brétigny-sur-Orge.
5.	Quatre fils de 24 m, N ^{OS} 566 à 569 et un fil de 8 m, N° 565	Université Technique d'Etat, Santiago du Chili.

1969 (suite)

N°		
6.	Quatre fils de 24 m, N ^{OS} 571 à 574 et un fil de 8 m, N° 570	id.
7.	Quatre fils de 24 m, N ^{OS} 581 à 584	id.
8.	Cinq Kilogrammes en acier inoxydable, N ^{OS} LMN 1 à LMN 5	Det Norske Justervesen, Oslo.
9.	Etalon de 1 ohm, N° 1 624 034	Bureau Fédéral des Poids et Mesures, Wabern.
10.	Etalon de force électromotrice, N° 382 064.	id.
11.	Quatre fils de 24 m, N ^{OS} 460 à 463 et un fil de 8 m, N° 471 (addition)	Mission Géographique de l'Angola, Nova Lisboa.
12.	Deux fils de 24 m, N ^{OS} S 512 et 1321 (addition)	Société Française de Stéréotopographie, Paris.
13.	Deux fils de 25 m, N ^{OS} 10 055 et 10 056 (addition)	id.
14.	Deux rubans de 4 m, N ^{OS} 251 et 1551 U N° 120 (addition)	id.
15.	Etalon de 1 ohm, N° 1 706 232	Institut National des Tests Industriels, Stockholm.
16.	Six étalons de force électromotrice, N ^{OS} 2751 à 2756	id.
17.	Six étalons de force électromotrice, N ^{OS} 7415, 7425, 884, 381 995, 62 236 et 62 242	id.
18.	Fil de 24 m, N° 1373	Electricité de France, Paris.
19.	Quatre fils de 24 m, N ^{OS} 636, 637, 639, 641 et un fil de 8 m, N° 580	Université du Nord, Antofagasta (Chili).
20.	Quatre fils de 24 m, N° 642 à 645	Institut de Géodésie, Graz.
21.	Treize calibres en acier de 1, 1,05, 1,1, 1,2, 1,4, 1,7, 2, 4, 7, 10, 20, 40 et 70 mm	Service des Poids et Mesures, 's-Gravenhage.
22.	Calibre étalon en acier de 100 mm	Bureau Fédéral des Poids et Mesures, Wabern.
23.	Deux calibres étalons en acier de 100 mm ..	AB C.E. Johansson, Eskilstuna (Suède).
24.	Règle de 1 m, N° 426	Office National des Mesures, Budapest.
25.	Quatre étalons de force électromotrice	National Physical Research Laboratory, Pretoria.
26.	Deux étalons secondaires de température de répartition, N ^{OS} 707 et 712 (Tc de 2042 à 2854 K)	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Vienne.

NOTES D'ETUDE

1968

5.	Deux thermomètres N ^{OS} 429 601 et 436 278 ..	Laboratoire Central des Industries Electriques, Fontenay-aux-Roses.
----	---	---

1969.

1.	Masse en acier inoxydable	Stanton Instruments Ltd., Londres.
----	---------------------------------	------------------------------------

IV. — ACTIVITÉS ET RELATIONS EXTÉRIEURES

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

De nombreuses demandes de renseignements sur le Bureau International, sur les unités en général et le SI en particulier continuent à être adressées au Bureau, notamment par divers pays qui, après la décision pro-métrique prise en 1965 par le Royaume-Uni, ont décidé ou envisagent d'adopter les mesures métriques (Afrique du Sud, Malaysia, Pakistan par exemple).

Le document « Le Système International d'Unités » qui sera publié prochainement par le Bureau International constituera un élément important pour la diffusion mondiale du SI.

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

La préparation de la 3^e édition du Vocabulaire International de l'Éclairage a été poursuivie par H. Moreau qui assure, en majeure partie en dehors de ses occupations au Bureau, la mise au point de ce document en tant que secrétaire du Comité E-1.1 de la Commission Internationale de l'Éclairage. Les douze sections de ce Vocabulaire sont actuellement en épreuves; les manuscrits des index détaillés en neuf langues ont été préparés pour l'impression.

La participation du Bureau aux travaux de plusieurs organisations s'occupant de questions d'unités, de nomenclature et de terminologie est toujours aussi active; citons entre autres: l'I.S.O./TC 12, la Commission SUN de l'U.I.P.P.A., la Commission « Symboles et Terminologie » de l'U.I.C.P.A., la Commission Électrotechnique Internationale, l'Association Française de Normalisation, le Comité Électrotechnique Français, le Bureau des Longitudes (Paris), etc.

Membre depuis janvier 1968 de l'Association Française des Utilisateurs de Petits Ordinateurs IBM et de l'Association « Common », section Europe, le Bureau International a mis à la disposition de ces associations les sous-programmes de calcul à 10^{-12} et 10^{-18} établis par P. Carré.

J. Terrien, P. Giacomo, A. Allisy, A. Rytz et J. Bonhoure ont pris part à diverses réunions des groupes de travail du Bureau National de Métrologie récemment créé en France.

Voyages, Visites, Exposés et Conférences 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 :

— à Madrid++, invité par le Président J. Otero, où il a donné trois conférences et visité plusieurs instituts s'occupant de métrologie (19-27 janvier 1969);

— à Turin⁺⁺, invité par le Conseil National de Recherches à une réunion à l'Institut de Métrologie récemment créé; il y a donné une conférence (fin février 1969);

— à Florence, à la première Assemblée Générale de la Société Européenne de Physique (6-11 avril 1969);

— à Teddington, pour des entretiens avec Mr Dunworth, vice-président du Comité International, principalement sur les étalons matériels de référence (fin avril 1969);

— à Kielce (Pologne), invité par la Société des Électriciens Polonais à donner une conférence sur les étalons photométriques, et passage à Budapest (8-11 mai 1969);

— à Washington et Gaithersburg, au Symposium sur l'internationalisation des étalons matériels de référence, patronné conjointement par le N.B.S. et le Comité International, et pour des entretiens avec le directeur et les principaux chefs de service du N.B.S. (22-29 mai 1969);

— à Stockholm, à l'occasion de réunions d'un Comité de la Commission Internationale de l'Éclairage et de l'Association Internationale de la Couleur, avec visites à MM. E. Rudberg, K. Siegbahn et B. Edlén (9-13 juin);

— à Teddington, pour la réunion du Comité E-1.2 « Photométrie » de la Commission Internationale de l'Éclairage, qui s'est tenue au N.P.L. (16-19 juin 1969);

— à Bruxelles⁺, à la Conférence sur l'application pratique du Système International d'Unités (24-25 juin 1969);

— à Cortina d'Ampezzo (Italie), à l'Assemblée Générale de l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée (29 juin-4 juillet 1969);

— à Reading (Grande-Bretagne), à la Conférence organisée par la Commission Internationale d'Optique (14-19 juillet 1969);

— à Ottawa, à l'Assemblée Générale de l'Union Radioscopique Internationale (18-28 août 1969), avec visite des laboratoires du N.R.C.;

— à Dubrovnik (Yougoslavie), à l'Assemblée Générale de l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée, et à la réunion de sa Commission SUN (9-13 septembre 1969).

Il a fait une conférence sur « La normalisation des unités de mesure » au Centre de Perfectionnement Technique à Paris, le 25 février 1969.

Du 25 septembre au 5 octobre 1968, A. Allisy⁺⁺ a visité plusieurs laboratoires au Canada et aux États-Unis: N.R.C. (Ottawa), N.B.S. (Washington), Armed Forces Radiobiology Research Institute, Defense Atomic Support Agency (Bethesda), Radiological Laboratories, College of Physicians and Surgeons of Columbia University (New York). Il a ensuite participé⁺⁺ du 7 au 12 octobre 1968 aux travaux de la Main Commission I.C.R.U., à Provincetown; il a également participé, du 24 au 30 avril 1969, aux travaux du Comité *ad hoc* I.C.R.U., à Sèvres.

Du 14 au 17 octobre 1968 il a fait une série de conférences de métrologie au Centre Torres y Quevedo, Madrid.

J. W. Müller a séjourné en Amérique du Nord du 31 juillet au 6 octobre 1968 où il a d'abord visité le N.B.S. à Gaithersburg, du 1^{er} au 7 août. Après son congé annuel passé à Berkeley, il a fait un séjour à l'Atomic Energy of Canada Limited à Chalk River, du 2 au 6 septembre, puis un stage au N.R.C. (Ottawa) du 9 septembre au 5 octobre. Dans ces trois laboratoires il

s'est surtout familiarisé avec les techniques spéciales d'étalonnage de radionucléides, et a pris part à une tentative d'améliorer l'étalonnage du ^{125}I . A Ottawa il a fait deux exposés sur : « Old and new dead time effects in pulse counting » et « Statistical numismatics : a new method of absolute archeological dating ».

Le sujet de cette deuxième conférence est lié étroitement à une étude spéciale que J. W. Müller, en dehors de son activité au Bureau, a faite dans le cadre d'un concours organisé par la Société Suisse de Numismatique. Ce travail, auquel a été attribué le premier prix, est intitulé « Datierung des römischen Theaters in Lenzburg durch die Münzfunde » (*Revue Suisse de Numismatique*, 47, 1968, pp. 105-130). Il s'agit d'une méthode nouvelle d'analyse statistique des dates de frappe des pièces de monnaie (en particulier de l'époque romaine) trouvées à l'occasion de fouilles archéologiques. Un exemple pratique montre que ce procédé permet des datations avec une incertitude de l'ordre de dix ans seulement, ce qui représente une amélioration d'environ un facteur dix par rapport à la méthode du ^{14}C . Il est curieux de constater que les techniques de calcul utilisées ne se distinguent guère de celles dont on a besoin pour l'étalonnage des radionucléides.

Du 10 au 15 novembre 1968, A. Rytz a participé à la réunion annuelle de l'American Nuclear Society à Washington, où il a présenté un exposé sur les comparaisons internationales de radionucléides, et visité le N.B.S. Il s'est rendu ensuite à l'Argonne National Laboratory (Chicago) pour prendre part à une réunion des participants à la comparaison d'une solution de ^{56}Mn . Il a terminé ce voyage par un séjour de trois jours au N.R.C. (Ottawa) où il a fait un exposé sur « Énergie des particules alpha ; mesures absolues et applications ».

P. Carré a participé les 28 et 29 novembre 1968 au Colloque sur les systèmes conversationnels à Grenoble. Il a fait les 11 octobre 1968 et 7 février 1969 des exposés sur ses sous-programmes de calcul précis, au cours de réunions à Saint-Mandé de l'Association Française des Utilisateurs de Petits Ordinateurs IBM. Avec J. Milobedzki, il a assisté le 30 mai à la réunion de cette Association à Saint-Nazaire.

Le 14 novembre 1968, G. Leclerc a présenté au Congrès parisien de la Société Française des Électriciens une communication sur « Le rôle du B.I.P.M. dans le domaine des unités électriques ».

Il a séjourné au National Physical Laboratory (Teddington), du 2 au 9 juillet 1969, pour y visiter le laboratoire d'électricité, en particulier l'installation de mesure du coefficient gyromagnétique du proton, et s'informer sur le dispositif déjà réalisé pour contrôler la stabilité des piles étalons au moyen de l'effet Josephson.

G. Girard s'est rendu les 13 et 14 mai 1969 au laboratoire du Professeur Elskens à l'Université Libre de Bruxelles pour se documenter sur un chromatographe en phase gazeuse, éventuellement utilisable pour les analyses de gaz dissous dans l'eau.

A. Rytz, J. W. Müller et B. Grennberg se sont rendus les 19 et 20 mai 1969 au B.C.M.N. (Euratom), à Geel (Belgique), où ils ont visité une partie des laboratoires et discuté avec les membres du laboratoire des radionucléides.

R. Czerwonka a suivi du 27 mai au 6 juin 1969 un cours de langage de

programmation PL1 à la Faculté des Sciences d'Orsay. Il a ensuite fait un exposé sur ce sujet au Bureau, le 11 juin 1969.

Du 16 au 19 juin 1969, J. Bonhoure a participé à Teddington aux réunions du Comité E-1.2 « Photométrie », de la Commission Internationale de l'Éclairage.

Pour favoriser les échanges de vues à l'intérieur même du Bureau, trois séries d'exposés principalement destinés à l'information du personnel ont été échelonnées au cours de l'année.

P. Carré a pris en charge une série d'exposés sur l'utilisation de notre ordinateur, avec exercices pratiques.

Une autre série commencée en janvier 1969 a porté sur des sujets divers :
30 janvier, G. Leclerc : Activité du Bureau en électricité et décisions récentes du Comité International dans ce domaine;

6 février, J. Terrien : Unité et échelles de temps;

6 mars, P. Giacomo : Mesures de longueur par comptage de franges d'interférence;

20 mars, R. Czerwonka : Radiations du krypton 86 dans l'infrarouge proche utilisables en métrologie des longueurs;

27 mars, J. Hostache et J. Hamon : Mesures de longueur par comptage de franges d'interférence (suite);

24 avril, A. Rytz : Masses atomiques, spectroscopie alpha et étalons d'énergie;

21 mai, V. Naggiar : Mesure absolue de fluence de neutrons rapides.

Enfin, à partir du 8 mai, J. W. Müller a commencé une série d'exposés sur « Éléments de statistique appliquée au traitement des résultats de mesures ».

Visites et stages au Bureau International

Les visites de physiciens, professeurs, groupes de chercheurs ou d'étudiants de toutes nationalités sont toujours très nombreuses. Nous ne citerons que les stages et visites ayant 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 radiations ionisantes 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 S. Sartori (Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin) a participé du 9 août 1968 au 16 janvier 1969 aux mesures de longueurs d'onde dans l'infrarouge, à la mise en application de la méthode de comptage de franges et aux mesures de g .

Mr A. Tejera-Rivera, Chef du projet d'étalonnage de radionucléides au Mexique, a fait un stage du 22 octobre au 30 novembre 1968. Il a étudié les techniques de préparation et de comptage de sources pratiquées au Bureau, et certains problèmes de métrologie classique. En outre, il a fait un calcul

utile concernant la correction due au schéma de désintégration du ^{56}Mn pour le comptage $4\pi\beta\text{-}\gamma$.

MM. Yong Chul Shin et T. H. Han (Laboratoire d'Électricité et des Télécommunications, Séoul, Corée). Mr Han est resté au Bureau du 4 au 23 novembre 1968 pour se familiariser avec nos méthodes de mesures électriques.

Mr Voorhof (Service Belge de la Métrologie) a passé les 28 et 29 janvier 1969 à la Section d'électricité.

MM. G. A. Doroféev et S. Somasundaram (Agence Internationale de l'Énergie Atomique) ont apporté une série de sphères utilisées en dosimétrie par radiophotoluminescence. Les 28 et 29 janvier 1969 ces sphères ont été soumises au B.I.P.M. à des expositions connues, en vue de leur étalonnage ultérieur.

M^{me} E. Prokopova (École Polytechnique de Prague) a effectué un stage d'environ trois mois au B.I.P.M., entre le 19 février et le 30 juin 1969, pour s'initier aux mesures électriques de haute précision.

Mr P. Koch (Bureau Fédéral des Poids et Mesures, Berne) a effectué du 25 au 29 mars 1969 une liaison gravimétrique entre Berne et Sèvres.

Mr G. Petit (Commissariat à l'Énergie Atomique, Saclay) a effectué au groupe des rayons X, du 14 au 16 avril 1969, l'étalonnage de plusieurs condensateurs.

Mr G. Cerutti (Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin) a participé du 27 mai au 6 juin 1969 aux travaux de la Section de gravimétrie.

Mr L. M. Branscomb, nouveau directeur du National Bureau of Standards, a visité nos laboratoires le 2 juillet 1969.

MM. J. L. Hall (National Bureau of Standards, Boulder) et K. M. Baird (Conseil National de Recherches, Ottawa) ont visité respectivement les 15 et 27 juillet 1969 nos installations de mesure des longueurs, interférométrie et gravimétrie. Nous avons pu avoir avec eux d'intéressants entretiens, entre autres sur les perspectives nouvelles ouvertes par les lasers stabilisés par absorption moléculaire.

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 1968.

Compte I. — Fonds ordinaires

RECETTES

	francs-or
Actif au 1 ^{er} janvier 1968.....	859 345,03
Recettes budgétaires.....	1 802 163,83
Différences de change.....	7 524,41
Prélèvement sur le compte « Remboursements aux États ».....	15 000,00
Virement du Compte IV.....	281 478,01
Total.....	<u>2 965 511,28</u>

DÉPENSES

	francs-or
Dépenses budgétaires.....	1 625 899,96
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1968.....	1 339 611,32
Total.....	<u>2 965 511,28</u>

DÉTAIL DES RECETTES BUDGÉTAIRES

	francs-or
Versements de contributions :	
au titre de l'exercice 1968.....	1 489 135,00
au titre des exercices antérieurs.....	97 168,00
au titre de l'exercice 1969.....	107 521,00
	} 1 693 824,00
Intérêts des fonds.....	23 385,74
Taxes de vérification.....	12 934,13
Remboursements des taxes sur les achats.....	70 290,51
Recettes diverses.....	1 729,45
Total.....	<u>1 802 163,83</u>

DÉTAIL DES DÉPENSES BUDGÉTAIRES

Chapitres	Dépenses de l'exercice	Prévisions budgétaires	Économies	Dépasse- ments
	francs-or	francs-or	francs-or	francs-or
A. Dépenses de personnel :				
1. Traitements.....	887 785,33	925 000	37 214,67	—
2. Allocations familiales.....	55 497,70	58 000	2 502,30	—
3. Sécurité sociale.....	46 630,51	46 000	—	636,51
4. Assurance-accidents.....	8 372,89	9 000	627,11	—
5. Caisse de Retraites.....	80 000,00	80 000	—	—
B. Dépenses de fonctionnement :				
1. Bâtiments (entretien).....	60 347,87	135 000	74 652,13	—
2. Mobilier.....	2 010,74	5 000	2 989,26	—
3. Laboratoires et ateliers.....	152 675,51	140 000	—	12 675,51
4. Chauffage, eau, énergie électrique..	60 688,75	62 000	1 311,25	—
5. Assurances.....	3 692,72	4 500	807,28	—
6. Impressions et publications.....	15 611,01	38 000	22 388,99	—
7. Frais de bureau.....	26 224,60	30 000	3 775,40	—
8. Voyages.....	20 441,66	20 000	—	441,66
9. Bureau du Comité.....	10 500,00	10 500	—	—
C. Dépenses d'investissement :				
1. Laboratoires.....	133 967,08	120 000	—	13 967,08
2. Atelier de mécanique.....	5 159,73	20 000	14 840,27	—
3. Atelier d'électronique.....	5 830,04	7 000	1 169,96	—
4. Bibliothèque.....	9 508,16	15 000	5 491,84	—
D. Frais divers et imprévus :				
	40 949,06	51 000	10 050,94	—
Totaux.....	1 625 899,96	1 776 000	177 820,80	27 720,76

Compte II. — Caisse de Retraites

RECETTES

Actif au 1 ^{er} janvier 1968.....	francs-or 144 860,36
Intérêts des fonds.....	3 972,77
Retenues sur les traitements.....	38 673,20
Virement du Compte I.....	80 000,00
Total.....	267 506,33

DÉPENSES

Pensions servies.....	francs-or 79 170,41
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1968.....	188 335,92
Total.....	267 506,33

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

Ce compte n'a enregistré en 1968 aucun mouvement en recette ou en dépense. Comme au 1^{er} janvier 1968, il se présente ainsi :

ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1968.....	francs-or 8 663,59
--------------------------------	-----------------------

Compte IV. — Laboratoire pour les radiations ionisantes

RECETTES

Actif au 1 ^{er} janvier 1968.....	francs-or 361 449,64
Recettes de l'exercice.....	34 877,80
Total.....	396 327,44

DÉPENSES

Dépenses de l'exercice.....	francs-or 114 849,43
Virement au Compte I.....	281 478,01
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1968.....	0
Total.....	396 327,44

DÉTAIL DES RECETTES

Versements de contributions exceptionnelles.....	francs-or 17 245,00
Intérêts des fonds.....	6 625,91
Remboursements de taxes sur les achats.....	11 006,89
Total.....	34 877,80

DÉTAIL DES DÉPENSES

Bâtiments.....	francs-or 13 870,64
Équipement scientifique de base.....	100 978,79
Total.....	114 849,43

Bilan

AU 31 DÉCEMBRE 1968

Compte I « Fonds ordinaires ».....	francs-or 1 339 611,32
Compte II « Caisse de Retraites ».....	188 335,92
Compte III « Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique ».....	8 663,59
ACTIF NET.....	1 536 610,83

Cet actif se décompose comme suit :

a. Les fonds déposés en banque :

1 ^o En monnaie française.....	francs-or 312 524,37
2 ^o En monnaie U.S.A.....	901 573,16
3 ^o En monnaie suisse.....	309 299,81
4 ^o En monnaie britannique.....	9 414,63

b. Les espèces en caisse.....	6 284,98
Total.....	1 539 096,95

A déduire :

Créditeurs divers.....	2 486,12
ACTIF NET.....	1 536 610,83

DEUXIÈME RAPPORT

DU

COMITÉ CONSULTATIF DES UNITÉS

AU

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Par E. RUDBERG, Rapporteur

Le Comité Consultatif des Unités (C.C.U.) a tenu sa deuxième session au Bureau International des Poids et Mesures, à Sèvres, au cours de six séances du lundi 2 au mercredi 4 juin 1969 ⁽¹⁾.

Étaient présents : J. DE BOER, président.

Les représentants des organisations internationales et des laboratoires membres :

Commission Électrotechnique Internationale [C.E.I.] : Comités d'Études N° 24 et N° 25 (C. H. PAGE).

Commission Internationale de l'Éclairage [C.I.E.] (J. TERRIEN).
International Commission on Radiation Units and Measurements [I.C.R.U.] (A. ALLISY).

Organisation Internationale de Normalisation [I.S.O.] : Comité Technique 12 (H. H. JENSEN, Mme V. H. SIMONSGAARD).

Union Internationale de Physique Pure et Appliquée [U.I.P.P.A.] :
Commission S.U.N. (E. RUDBERG).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [P.T.B.], Braunschweig (U. STILLE).

National Bureau of Standards [N.B.S.], Washington (C. H. PAGE).

Conseil National de Recherches [N.R.C.], Ottawa (G. HERZBERG).

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

⁽¹⁾ Les Annexes U mentionnées dans ce rapport sont publiées dans *Comité Consultatif des Unités*, 2^e session, 1969.

Les membres nominativement désignés :

P. HONTI (Budapest).

Le directeur du Bureau International (J. TERRIEN).

Invités : M. L. McGLASHAN, président de la Commission « Symboles, Terminologie et Unités » de l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée [U.I.C.P.A.]; L. VILLENA, vice-président du Comité Espagnol de l'U.I.P.P.A.

Assistaient aussi à la session : P. GIACOMO, sous-directeur du Bureau International et H. MOREAU (Bureau International).

Excusés : C. C. CHAMBERS, président du Comité d'Études N° 24 de la C.E.I., qui était représenté par C. H. Page, et J. STULLA-GÖTZ (Vienne), membre nominativement désigné.

Absent : Comité des Normes, des Mesures et Instruments de Mesure, Moscou.

Le *Président* ouvre la séance en souhaitant la bienvenue à tous et en particulier aux nouveaux membres. Il fait part avec regret du récent décès de M. K. Landolt, président du Comité d'Études N° 25 de la C.E.I., qui avait été invité à participer aux travaux de cette session en raison de sa grande compétence dans les questions de normalisation internationale des grandeurs physiques. Le C.C.U. observe quelques instants de silence en hommage à M. K. Landolt.

Mr Rudberg est désigné comme rapporteur, assisté de Mr Moreau comme secrétaire.

L'ordre du jour proposé est adopté après avoir été complété au point 7.

1. Doit-on adopter une unité SI de quantité de matière?

A sa 1^{re} session (1967), le C.C.U. avait répondu affirmativement à cette question en adoptant la Recommandation U 4; cette recommandation fut présentée au Comité International des Poids et Mesures pour qu'il propose à la 13^e Conférence Générale d'adopter une résolution qui ferait de la *mole* une septième unité de base du Système International d'Unités (SI) en tant qu'unité de « quantité de matière » (« amount of substance »).

En octobre 1967, la 13^e Conférence Générale décidait d'ajourner sa décision sur cette question et « chargeait le Comité International des Poids et Mesures et son Comité Consultatif des Unités de bien vouloir poursuivre l'étude de cette question et de soumettre à une prochaine Conférence Générale un nouveau projet de définition de la mole ».

Le C.C.U. a réexaminé en détail la question. Un grand nombre d'idées fausses sur le concept « quantité de matière » et sur l'unité proposée ont été mentionnées et leurs critiques furent exposées. On insista sur le fait

que la proposition est que la mole soit prise comme une unité de base, ce qui implique, en conséquence, que la grandeur correspondante doit être considérée comme une grandeur de base. Cela reste vrai, que cette grandeur soit importante ou non. Mr *Stille* dit que cette proposition, ainsi présentée, a l'appui de son pays.

Mr *McGlashan* remarque que la mole, qui tire son origine du vieux concept d'équivalents chimiques, est utilisée de longue date par les chimistes; elle ne peut être remplacée ni par un nombre, ni par une masse. Les chimistes ne peuvent se passer de ce concept et, aussi longtemps que la mole ne sera pas introduite dans le SI, ils ne pourront pas utiliser correctement le SI dans leurs travaux. Il serait particulièrement néfaste de ramener la grandeur à laquelle correspond la mole à un nombre pur. En fait, depuis plus d'un siècle, les chimistes ont traité la mole comme une unité indépendante.

Le *Président* note que si l'on considérait la mole comme un nombre pur, il serait nécessaire de donner au nombre d'Avogadro le caractère d'une grandeur fondamentale, ce qui impliquerait effectivement des difficultés métrologiques; la mole doit donc être une unité de base. Mr *Jensen* souhaite vivement qu'on évite de placer la mole parmi les unités supplémentaires; si les unités d'angle radian et stéradian sont dans cette catégorie, c'est pour des raisons qui ne s'appliquent pas à la mole.

En conclusion, le C.C.U. se déclare unanimement d'accord, avec deux abstentions, pour réaffirmer la position qu'il avait prise en 1967 dans sa Recommandation U 4 et pour présenter au Comité International une nouvelle recommandation dans le même sens.

On a également soulevé la question de savoir s'il ne serait pas préférable d'adopter comme nouvelle unité SI de base pour la quantité de matière la kilomole = 1 000 moles, au lieu de la mole. Après examen des divers arguments pour et contre la kilomole, le C.C.U. estime que l'unité doit être la mole. Les points marquants de cette discussion sont résumés à l'Annexe U 3.

Un échange de vues a eu lieu aussi au sujet du terme « quantité de matière » qui avait été critiqué lors de la 13^e Conférence Générale. Aucun nom meilleur ne s'imposant pour cette grandeur, le C.C.U. a préféré maintenir les termes français et anglais tels qu'ils sont entrés dans l'usage.

Finalement, le C.C.U. adopte sans avis contraire la *Recommandation* U 1 (1969) (voir p. 116).

2. Distinction entre le groupe cohérent des unités SI et le groupe comprenant leurs multiples et sous-multiples; unités supplémentaires

Le *Président* rappelle qu'en 1967 le C.C.U. avait proposé dans sa Recommandation U 5:

1^o que le nom « Système International d'Unités » soit limité à l'ensemble cohérent des unités SI de base et des unités qui en dérivent;

2° que cet ensemble d'unités avec leurs multiples et sous-multiples dont les noms sont formés au moyen des préfixes adoptés par la Conférence Générale, soit désigné sous le nom de « Système International d'Unités Élargi » (SI Élargi).

Cette proposition, qui avait été inscrite au programme provisoire de la 13^e Conférence Générale, suscita des critiques de la part des délégations et fut retirée de l'ordre du jour de cette Conférence. Le Comité International fit une nouvelle proposition et adopta en octobre 1967 la Recommandation 1 qui ne fut toutefois pas publiée; en effet, à la suite des objections faites contre cette Recommandation 1, le Comité International reconnaissait à sa session de 1968 que cette Recommandation nécessitait un nouvel examen ⁽²⁾.

Dans une lettre circulaire adressée aux membres du C.C.U. le 30 octobre 1968, Mr de Boer proposait au nom du Comité International un projet de modification de cette Recommandation 1 et l'adoption du nom « Système International de Mesures » et son abréviation SI pour l'ensemble des règles concernant les unités, les multiples et sous-multiples décimaux, et tout ce qui pourrait être adopté à l'avenir par la Conférence Générale en cette matière. Cette proposition donna lieu à de nombreux commentaires par correspondance au sein du C.C.U., sans qu'aucun accord n'ait pu se réaliser sur l'ensemble de cette question.

Après un nouvel examen de la question au cours de cette session, le C.C.U. a été finalement unanime pour soumettre au Comité International les propositions suivantes :

1° Les unités cohérentes du SI sont appelées *unités* SI.

2° Les préfixes adoptés par la Conférence Générale sont appelés *préfixes* SI.

3° L'usage des unités SI et de leurs multiples et sous-multiples décimaux dont les noms sont formés au moyen des préfixes SI est recommandé ⁽³⁾.

En ce qui concerne les *unités supplémentaires*, le C.C.U. est informé de la déclaration faite par le Comité International en octobre 1967 : « ... le Comité International décide de ne proposer aucun changement à la Résolution 12 de la 11^e Conférence Générale (1960), et de conserver par

⁽²⁾ Cette Recommandation 1 du C.I.P.M., non publiée et annulée, prévoyait :

— que l'appellation « Système International d'Unités » et son abréviation « SI » désignent l'ensemble des unités, des multiples et sous-multiples décimaux et tout ce qui pourrait être adopté à l'avenir par la Conférence Générale en cette matière;

— que les unités de base, les unités supplémentaires et les unités dérivées, qui forment un ensemble cohérent, soient désignées sous le nom d'« Unités du Système International » avec l'abréviation « Unités SI »;

— que les multiples et sous-multiples décimaux des Unités du Système International doivent être désignés sous le nom complet de « multiples et sous-multiples des Unités SI ».

⁽³⁾ A sa session d'octobre 1969, le Comité International des Poids et Mesures a adopté la Recommandation 1 (1969) (voir p. 30) conforme à ces trois propositions.

conséquent la catégorie des « unités supplémentaires » dans laquelle on classe des unités que l'on ne veut pas, pour une raison quelconque, classer dans les unités de base ou dans les unités dérivées » (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 35, 1967, p. 19).

Le C.C.U. n'a pas d'observations à présenter sur cette déclaration et note avec satisfaction que les unités supplémentaires sont ainsi maintenues dans le groupe cohérent des unités SI cité en 1^o ci-dessus.

3. Échelle Internationale Pratique de Température de 1968

Le *Président* informe le C.C.U. de la mise en vigueur récente de l'Échelle Internationale Pratique de Température de 1968, dont le texte tient compte des propositions faites dans les Recommandations U 2 et U 7 (nom, symbole et définition de l'unité de température thermodynamique) adoptées par le C.C.U. en 1967.

4. Projet d'adoption des noms « siemens » et « pascal »

Siemens. — Après une discussion générale, et bien qu'il se fût déclaré opposé, à sa 1^{re} session (1967), à toute nouvelle introduction de noms non rationnels, dérivés de noms propres de savants, pour les unités SI, le C.C.U. a décidé (avec trois abstentions) de recommander l'adoption du nom « siemens » (symbole S) pour l'unité SI de conductance électrique (Ω^{-1}).

Le C.C.U. a noté que plusieurs délégations à la 13^e Conférence Générale s'étaient déclarées en faveur de l'adoption du siemens et que ce nom n'était pas en réalité un nom nouveau. Il a été adopté en 1935 par la Commission Électrotechnique Internationale, puis par l'Organisation Internationale de Normalisation, ainsi que par d'autres organisations internationales bien avant l'établissement du SI par la Conférence Générale.

Pascal. — La discussion a mis en évidence l'utilité d'avoir un nom spécial pour l'unité SI de pression (tension mécanique), le newton par mètre carré (N/m^2).

Le C.C.U. a estimé que le nom « pascal » (symbole Pa), proposé par la France il y a une vingtaine d'années et légalisé dans le décret français de 1961 sur les Unités de mesure, constituerait un excellent choix. Le C.C.U. a souligné que l'introduction de ce nom serait particulièrement utile dans de nombreux domaines de la mécanique et qu'il permettrait de disposer d'un nom court et commode pour l'unité SI de viscosité dynamique : pascal·seconde (Pa·s) au lieu de newton·seconde par mètre carré ($N \cdot s/m^2$). En outre, l'emploi du pascal pourrait favoriser à la longue l'abandon dans la plupart des domaines du « bar » qui n'est qu'un multiple d'une unité SI.

En considération de ces arguments, le C.C.U. propose de recommander l'adoption de « pascal » (Pa) pour le nom de l'unité SI de pression.

**5. Proposition d'emploi de l'abréviation SI
en remplacement du nom complet ou du symbole des unités SI composées;
emploi des préfixes SI devant cette abréviation**

Déjà examinée à la 1^{re} session du C.C.U. (1967, p. U 21), cette proposition n'avait toutefois pas été jugée suffisamment mûre pour qu'une recommandation soit soumise au Comité International des Poids et Mesures. Le C.C.U. avait alors décidé de demander aux organisations spécialisées (I.S.O., C.E.I., Unions scientifiques internationales) d'étudier cette question.

A la suite de cette suggestion, l'I.S.O./TC 12 a effectué une enquête parmi ses membres (Document « (Secrétariat-214) 597 »), enquête dont les résultats sont communiqués au C.C.U. par Mr *Jensen* et M^{me} *Simonsgaard*. Une nette majorité des membres du TC 12 consultés n'a pas jugé souhaitable l'introduction de l'abréviation SI, éventuellement affectée du symbole d'un préfixe (par exemple pour la viscosité : $\eta = 3,1 \times 10^{-3}$ SI ou 3,1 mSI). Parmi la minorité qui accepte l'emploi de l'abréviation SI, certains sont opposés à l'emploi des symboles des préfixes de la manière suggérée.

Au cours de la discussion qui a suivi au sein du C.C.U. les avis furent partagés. Mr *Page* appuie l'ensemble de la proposition qui a été accueillie favorablement par le directeur du National Bureau of Standards, les États-Unis ayant par ailleurs accepté l'emploi de SI, mais sans symboles de préfixes, lors de l'enquête de l'I.S.O./TC 12. Mr *Vigoureux*, appuyé par Mr *McGlashan*, exprime un avis contraire; il craint les effets néfastes de cette proposition dans l'enseignement si les étudiants avaient la possibilité d'écrire simplement « SI » à la place du symbole rationnel complet d'une unité SI; en effet, l'abréviation SI ne permet plus d'effectuer la vérification dimensionnelle d'un résultat calculé. Mr *Rudberg* se demande si la majorité de ceux qui ont pris position sur cette proposition ont pris réellement le temps de considérer avec soin comment elle pourrait être mise en application. Pour le moment, il apparaît en tout cas évident que la question n'est pas encore mûre pour une action immédiate.

6. Le nombre 1 en tant qu'unité SI

Certaines grandeurs s'expriment par des nombres (par exemple l'indice de réfraction, la permittivité relative, la perméabilité relative); l'unité de ces grandeurs peut-elle être représentée par le nombre « 1 »?

En réponse à cette question, le C.C.U. a adopté à l'unanimité la déclaration suivante :

Le Comité Consultatif des Unités ne voit aucune objection à la pratique d'inclure, dans les tableaux des unités SI, l'unité 1 pour les grandeurs dites sans dimensions.

7. Abréviations des noms et symboles d'unités à employer dans les machines pour le traitement de l'information

Les machines pour le traitement de l'information et certaines machines à écrire dotés de jeux de caractères graphiques limités ne permettent pas d'employer tous les symboles internationaux des unités et des préfixes, notamment ceux qui sont formés avec des lettres grecques. Cette question avait déjà été mentionnée lors de la 1^{re} session du C.C.U. (1967, p. U.13) qui avait estimé que ce problème était de la compétence d'un Comité spécialisé de l'I.S.O.

Au cours de cette 2^e session, le C.C.U. a été simplement informé des travaux effectués en commun dans ce but par les Comités I.S.O./TC 12, TC 95 et TC 97 et a pris connaissance d'un projet de proposition (Document « (Secrétariat-215), mars 1969 ») préparé par le TC 97.

Après un bref échange de vues et quelques commentaires sur ce document, Mr *Terrien* indique qu'il ne pense pas que le C.C.U., le Comité International et la Conférence Générale désirent intervenir dans ces questions. Le *Président* exprime cependant ses craintes quant à la diffusion et les échanges de données écrites avec les abréviations proposées; cela risque en effet d'implanter de déplorables habitudes dans l'écriture des unités SI.

En conclusion, le C.C.U. désire attirer l'attention du Comité International des Poids et Mesures sur cette question et souhaite que celui-ci soit informé des décisions qui seront prises dans ce domaine par l'I.S.O./TC 97.

8. Document sur le Système International d'Unités

A la suite d'une demande présentée en octobre 1967 à la 13^e Conférence Générale, un projet de document sur le SI a été établi par MM. de Boer et Terrien. Ce projet, dont un exemplaire mult copié a été remis aux délégués à la reprise de la session de cette Conférence en octobre 1968, a également été envoyé à tous les membres du C.C.U. pour qu'il soit examiné au cours de cette session.

Ce document a été favorablement accueilli par le C.C.U., tant pour son plan d'ensemble que pour son contenu. MM. *Honti*, *Page* et *Stille* exprimèrent le désir qu'une annexe à ce document rassemble toutes les résolutions et recommandations de la Conférence Générale et du Comité International qui sont citées dans le texte.

Le C.C.U. a ensuite discuté de quelques corrections et amendements de détail pour la préparation de la version finale de ce document confiée à MM. de Boer et Terrien.

La question de l'unité pour le « moment d'une force » a donné lieu à un échange de vues spécial, une proposition ayant été faite d'appeler l'unité de cette grandeur « joule par radian » (J/rad) au lieu de « mètre · newton » (N · m). Le C.C.U. a finalement décidé de n'apporter aucun changement.

9. Unités en dehors du Système International

Il existe de nombreuses unités en dehors du SI ayant des noms spéciaux, et dont plusieurs ont été officiellement reconnues par les Conférences Générales des Poids et Mesures. Le *Président* suggère de désigner ces unités diverses sous le nom d'« unités auxiliaires ». Mr *Herzberg* fait remarquer que la liste de ces unités englobe à vrai dire des unités très différentes, par leur nature, par leur importance, ou par leur domaine d'application.

Après un examen détaillé de la question, le C.C.U. décide de recommander le classement de ces unités ou des noms par lesquels elles sont désignées en trois catégories, et de soumettre ce classement à l'attention du Comité International :

- A. à maintenir,
- B. à tolérer temporairement,
- C. à déconseiller.

Après une discussion générale sur de nombreux points, le tableau suivant a été finalement établi.

Tableau d'unités ou noms d'unités

Classement en 3 catégories

A à maintenir (*)	B à tolérer temporairement (*)	C à déconseiller (*)
minute	are (= 10^2 m ²)	fermi (= 10^{-15} m)
heure	hectare (= 10^4 m ²)	unité X
jour (= 24 h)	ångström (10^{-10} m)	stère
seconde	bar (10^5 N/m ²)	carat (= 0,2 g)
minute	barn (= 10^{-24} cm ²)	γ (= 10^{-6} g)
degré	gal (= 10^{-2} m/s ²)	γ (= 10^{-9} T)
litre (= dm ³)	mille marin	λ (= 10^{-6} l)
tonne (= Mg)	nœud	kilogramme force (kilopond)
électronvolt	atmosphère normale	et les unités qui en dérivent
unité de masse atomique	curie	torr
unité astronomique	röntgen	calorie
parsec	rad (= 10^{-2} J/kg)	nit
		et tous les noms spéciaux des unités C.G.S. cohérentes (dyne, erg, stilb, etc.).

L'emploi des quatre dernières unités de la catégorie A est inévitable dans des domaines spécialisés de la recherche scientifique, parce que leur valeur exprimée en unités SI n'est pas connue exactement.

(*) A sa session d'octobre 1969, le Comité International des Poids et Mesures a précisé comme suit la définition de chaque catégorie :

A. — Unités en dehors du SI qu'il est nécessaire de maintenir pour qu'elles soient employées conjointement avec les unités du SI.

B. — Unités en dehors du SI dont l'emploi pourra être évité, mais qu'il semble préférable de maintenir temporairement pour qu'elles soient employées conjointement avec les unités du SI, en raison de la force des usages existants.

C. — Les unités qui sont en dehors du SI et qui ne sont pas dans les listes A et B peuvent être remplacées par des unités du SI. La liste C en donne quelques exemples.

Mr *Page* aurait souhaité que le « tour » (« revolution » en anglais) soit inclus dans la catégorie A comme nom spécial pour désigner l'angle 2π radians, lorsqu'il s'agit d'une vitesse de rotation. Cette demande n'a pas été retenue par le C.C.U. qui a estimé, dans sa grande majorité, que le terme « tour » dans l'expression de l'unité « tour par seconde » par exemple représente simplement une explication concernant la nature de la grandeur correspondante « fréquence de rotation »⁽⁵⁾.

MM. *Jensen* et *Honti*, tout en approuvant la présence dans A des unités d'angle citées, ne sont pas en faveur de l'inclusion du « grade »; d'un accord général, cette unité n'a pas été retenue.

Au sujet de l'« ångström », son classement en B a donné lieu à une abstention (Mr *Stille*). Plusieurs membres donnèrent comme raison du maintien de cette unité son emploi très répandu dans de nombreux domaines. Mr *Herzberg* a rappelé la prise de position de la Commission de Spectroscopie du Conseil International des Unions Scientifiques contre l'abandon de l'ångström et aurait préféré que cette unité soit classée en A. Mr *Jensen* fit remarquer que si l'ångström est utilisé en physique de l'état solide, on préfère cependant avoir comme unité le « rayon de Bohr ».

Le C.C.U. a estimé souhaitable que les unités classées dans les catégories A et B soient publiées dans un tableau dans le texte définitif du document sur le SI.

Enfin, le C.C.U. tient à déclarer que ce classement ne s'applique qu'au cas où ces unités en dehors du SI seraient utilisées en liaison avec des unités SI ou leurs multiples et sous-multiples; en particulier, la situation présente ne devrait pas être considérée comme un obstacle à tout nouveau classement d'unités dans l'avenir.

10. Questions diverses

« *Codata* ». — Le *Président* avait envisagé de poser la question d'une éventuelle participation du C.C.U. aux travaux du Comité « *Codata* » créé en 1966 par le Conseil International des Unions Scientifiques; ce sujet a été retiré de la discussion.

Noms et symboles d'unités affectés de qualificatifs. — Mr *Terrien* indique que Mr *Stulla-Götz* a attiré son attention sur l'emploi regrettable dans certaines publications de l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique de noms d'unités et de leurs multiples affectés d'un qualificatif, tels que « mégawatt électrique » (MW(e), MWe, MWE), « kilowatt thermique » (kW(th), kW(T)).

⁽⁵⁾ C'est ainsi que l'on dit souvent par exemple « l'activité est x alphas par seconde » au lieu de dire « l'activité alpha est x par seconde », ou encore la « densité (dans le sens de nombre volumique) est x molécules par mètre cube » au lieu de la grandeur « nombre de molécules divisé par le volume est x par mètre cube ». Dans le cas du « tour » on dit fréquemment « la fréquence est x tours par seconde » alors que l'expression correcte est « la fréquence de rotation est x par seconde ».

Le C.C.U. ne peut que condamner de telles entorses aux règles d'écriture correcte des unités et de leurs symboles; dans ces cas particuliers les adjectifs « électrique » et « thermique » doivent être affectés au nom de la grandeur, et non à celui de l'unité ou de son symbole. D'autres organismes ont déjà condamné ces erreurs (par exemple, l'U.S.A. Standards Institute).

* * *

Au moment de clore cette deuxième session, le *Président* remercie tous les participants pour leur contribution aux discussions, ainsi que le directeur du Bureau International et ses collaborateurs pour leur hospitalité.

Au nom de ses collègues, Mr *Vigoureux* remercie à son tour le *Président* pour la façon cordiale et efficace avec laquelle il a dirigé les débats.

(12 juin 1969)

**Recommandation
du Comité Consultatif des Unités
présentée
au Comité International des Poids et Mesures**

Projet de résolution sur l'unité de quantité de matière (mole)

RECOMMANDATION U 1 (1969) (*)

Le Comité Consultatif des Unités,

CONSIDÉRANT

les besoins urgents des milieux scientifiques et techniques qui s'efforcent de promouvoir l'usage général du Système International d'Unités, particulièrement en chimie et en technologie chimique;

les demandes réitérées des organisations scientifiques compétentes: l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée et l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée;

CONSIDÉRANT AUCSI *les demandes pressantes de l'Organisation Internationale de Normalisation (I.S.O.), qui expriment les intérêts des milieux scientifiques et techniques dans un grand nombre de pays;*

RECONNAISSANT *que la mole, unité de quantité de matière, possède toutes les caractéristiques d'une unité de base, et après avoir évalué soigneusement les avantages et les désavantages possibles de l'introduction de la kilomole au lieu de la mole;*

(*) A sa session d'octobre 1969, le Comité International des Poids et Mesures a accepté de présenter à la 14^e Conférence Générale le projet de résolution proposé dans cette Recommandation U 1, avec un texte d'introduction qui sera rédigé ultérieurement par le Comité International.

RECOMMANDE que le Comité International des Poids et Mesures présente à la Quatorzième Conférence Générale des Poids et Mesures le projet de résolution suivant :

Projet de résolution

La Quatorzième Conférence Générale des Poids et Mesures,

CONSIDÉRANT les avis de l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée, de l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée et de l'Organisation Internationale de Normalisation concernant le besoin de définir une unité de quantité de matière,

DÉCIDE

1° *La mole est la quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 0,012 kilogramme de carbone 12; son symbole est mol.*

2° *Lorsqu'on emploie la mole, les entités élémentaires doivent être spécifiées et peuvent être des atomes, des molécules, des ions, des électrons, d'autres particules ou des groupements spécifiés de telles particules.*

3° *La mole est une unité de base du Système International d'Unités.*

ANNEXE 1

Proposition d'une activité dans le domaine des échelles de temps pour la Conférence Générale et le Comité International des Poids et Mesures

Par G. BECKER

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

I. NÉCESSITÉ D'UNE ÉCHELLE DE TEMPS (MÉTROLOGIQUE) TA

L'unité de temps du Système International d'Unités (SI), la *seconde*, a été définie par la 13^e Conférence Générale des Poids et Mesures à partir d'une transition de l'atome de ¹³³Cs. Dans les pays qui ont accepté et adopté le SI conforme aux décisions de la Conférence Générale, les intervalles de temps doivent être mesurés en secondes SI. Dans la pratique, la seconde est fournie par les horloges atomiques.

Deux méthodes permettant une telle mesure des intervalles de temps sont connues :

a) On utilise une horloge atomique pour tout intervalle à mesurer (principe du chronomètre). Cette méthode est d'un intérêt pratique limité.

b) On utilise une échelle de temps (*échelle de temps atomique*) qui a pour unité la seconde. L'intervalle de temps est égal à la différence des dates correspondant respectivement à la fin et au début de l'intervalle de temps à mesurer.

Comme le début et la fin des intervalles de temps à mesurer peuvent être définis par des événements survenant dans différents pays, l'existence d'un système mondial de temps atomique est une condition nécessaire pour permettre des mesures d'intervalles de temps suivant la méthode b).

Donc, la conséquence logique de la définition de la seconde est l'adoption d'une Échelle Internationale de Temps Atomique (TA) pour permettre les mesures d'intervalles de temps en secondes.

Il serait raisonnable d'utiliser une telle échelle de temps TA non seulement pour les besoins de la métrologie, mais aussi d'en faire l'échelle de temps légale des pays qui ont adopté et rendu légal le SI.

L'utilisation du TA comme temps civil (temps légal) entraînerait de légères différences entre la durée du jour solaire et la durée du jour dans l'échelle TA, mais ces différences sont négligeables.

II. PROBLÈMES POSÉS PAR L'INTRODUCTION DU TA

L'introduction généralisée du TA soulève deux problèmes majeurs :

a) L'introduction du TA peut seulement se faire sur une recommandation d'un organisme international approprié, chargé par les gouvernements des États adhérents à la Convention du Mètre de la responsabilité de définir, de faire adopter et de maintenir l'Échelle Internationale de Temps Atomique. Cet organisme n'existe pas jusqu'ici.

b) L'échelle habituellement appelée « Temps Universel » (TU) correspond à un besoin important. Le TU n'est pas une échelle de temps au sens métrologique, puisqu'il constitue une approximation non pas de la grandeur f de la physique mais de l'angle de rotation (à vitesse variable) de la Terre. L'information angulaire donnée par le TU est d'une grande importance pour les navigateurs, astronomes, etc.

Jusqu'ici, l'idée dominante a été que l'information « temps » (TA) et l'information « angulaire » (TU) doivent être transmises par le même système de diffusion. Cette exigence a conduit au développement des deux principaux systèmes de compromis, TUC et TAS, et a fait obstacle à l'introduction du TA. Le TUC a une échelle variable, tandis que le TAS (Temps Atomique avec sauts) utilise la seconde SI comme unité. Aucune des deux échelles ne s'écarte de TU de plus d'environ 0,1 s. Cela est obtenu par des sauts (TAS) ou par une combinaison de sauts et d'ajustements de l'unité (TUC).

La plupart des problèmes relatifs à ces compromis sur les échelles de temps résultent de l'idée de donner deux informations (temps et angle) dans une même émission. Ces problèmes concernent principalement les *utilisateurs* des signaux horaires. Les décisions relatives à une modification du compromis adopté ne peuvent être prises qu'après consultation approfondie et circonstanciée des différentes catégories d'utilisateurs travaillant dans les divers domaines d'application.

En revanche, le système TA ne poserait, essentiellement, que les problèmes de production et de diffusion.

III. ORGANISATIONS S'OCCUPANT DES ÉCHELLES DE TEMPS

Les problèmes des échelles astronomiques de temps sont traités principalement par l'Union Astronomique Internationale (U.A.I.) et ceux des échelles « physiques » de temps par l'Union Radioscopique Internationale (U.R.S.I.). Le Bureau International de l'Heure (B.I.H.) assure la coordination et le travail d'évaluation concernant les deux types d'échelles (temps et angle) sous le patronage d'un Comité directeur. Aucun de ces organismes n'est intergouvernemental; leurs possibilités sont limitées, par exemple pour introduire le TA comme échelle de temps officielle.

Un travail appréciable sur les échelles de temps est effectué au sein du Comité Consultatif International des Radiocommunications (C.C.I.R.). Cet organisme intergouvernemental, principalement responsable des problèmes de communications, s'occupe des problèmes d'émission et de réception des signaux horaires plutôt que des problèmes relatifs aux échelles de temps à usage scientifique. Mais comme il y a un besoin urgent d'un accord international sur ces questions, le C.C.I.R. s'en occupe aussi.

Les recommandations du C.C.I.R. relatives aux échelles de temps ont été suivies, en pratique, par les administrations gouvernementales, bien que ces questions sortent apparemment de la compétence du C.C.I.R.

L'accroissement rapide du travail concernant les échelles de temps à usage scientifique est devenu une charge considérable pour la Commission d'Études VII du C.C.I.R. Les administrations de certains États, dont celle de la République Fédérale d'Allemagne, ont exprimé l'opinion que le travail relatif à ces échelles de temps ne devrait pas être pris en charge plus longtemps par le C.C.I.R.

La Recommandation S3 adoptée en juillet 1967 par le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde ⁽¹⁾ a été la première proposition faite au Comité International des Poids et Mesures (C.I.P.M.) de s'occuper des problèmes posés par les échelles de temps (pour l'usage métrologique). A la suite de cette recommandation, une « Commission préparatoire », constituée de spécialistes des questions de temps, s'est réunie sur l'invitation du C.I.P.M. en octobre 1968 ⁽²⁾. Cette Commission a fait du bon travail en discutant d'un système de TAS avec sauts de 1 seconde qui avait été proposé, mais il n'y a eu qu'une seule réunion de ce genre.

L'examen des activités des organisations internationales montre que, jusqu'ici, l'intérêt métrologique des échelles de temps n'est pas suffisamment reconnu dans la répartition actuelle des tâches.

A la XVI^e Assemblée Générale de l'U.R.S.I. (Ottawa, août 1969), la Commission I a discuté le problème des responsabilités pour les échelles de temps et adopté, sur la proposition du délégué allemand, une résolution proposant au C.I.P.M. de constituer un « Comité Consultatif pour la Définition des Échelles de Temps » (C.C.D.E.T.), et de confier l'établissement des échelles de temps au B.I.H., conformément aux principes qui seraient acceptés par ce Comité Consultatif.

IV. PROPOSITIONS POUR LE TRAVAIL DE LA C.G.P.M. ET DU C.I.P.M. CONCERNANT LES ÉCHELLES DE TEMPS

On propose que les gouvernements des États adhérents à la Convention du Mètre chargent le C.I.P.M. de la responsabilité des échelles « physiques » de temps à utiliser pour les travaux métrologiques, et qui pourraient être appropriées et recommandées comme échelles de temps légales.

La C.G.P.M. et le C.I.P.M. ne devraient pas s'occuper des échelles astronomiques de temps telles que TU et TE. Si les gouvernements devaient préférer un système de temps de compromis, les problèmes de compromis

⁽¹⁾ *Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 35, 1967, p. 121.

⁽²⁾ *Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 36, 1968, p. 109.

devraient aussi être traités par la C.G.P.M. et le C.I.P.M., après consultation des autres organisations internationales concernées.

Les tâches de la C.G.P.M. et du C.I.P.M. seraient :

1. *Définition d'une Échelle de Temps Atomique Coordonné*. Cela comprendrait :

- a) la définition d'une unité qui serait la « Seconde de Temps Coordonné »;
- b) la définition de l'origine de l'échelle.

2. *Établissement de l'échelle à partir des contributions à cette échelle de temps des différents États adhérents à la Convention du Mètre*. Cela comprendrait :

- a) la coordination et la stimulation des contributions;
- b) la mise au point et l'application des procédés statistiques permettant d'élaborer une échelle de temps moyenne pondérée à partir des contributions.

3. *Recommandation aux gouvernements des États adhérents à la Convention du Mètre d'introduire officiellement (légalement) cette échelle de temps*.

4. *Recommandations concernant les activités des Organisations internationales et la collaboration avec elles*.

Cela comprendrait, par exemple, des recommandations au C.C.I.R. pour traiter les problèmes spécifiques de diffusion aussi bien que la collaboration avec l'U.R.S.I. et l'U.A.I. concernant les problèmes scientifiques.

Le C.I.P.M. serait assisté dans son travail sur l'échelle de temps par le « Comité Consultatif pour la Définition des Échelles de Temps » (C.C.D.E.T.) précédemment proposé.

La tâche 2 demande le travail continu d'un *laboratoire* sous les auspices du C.I.P.M. Ce laboratoire devrait être conseillé par le C.C.D.E.T. Il serait logique de charger le B.I.P.M. de la responsabilité du travail statistique relatif au point 2, travail comparable à celui des diverses sections du B.I.P.M.

Comme le B.I.H. a une expérience excellente concernant ce point 2, il serait désirable de trouver une forme d'organisation qui permette au B.I.H., *pour la partie non astronomique de ses tâches*, de travailler sous les auspices du C.I.P.M., et de devenir ainsi le laboratoire mentionné au paragraphe précédent. Comme la réalisation du TA et du TU est fondée sur des procédés complètement différents, la séparation des tâches du B.I.H. semble logique et devrait constituer une étape vers la solution du problème de l'échelle de temps atomique.

Charger le B.I.H. du travail de coordination et de statistique (conformément au point 2) sous les auspices du C.I.P.M. pourrait d'autre part résoudre le problème financier du B.I.H.

(1^{er} septembre 1969)

NOTICE NÉCROLOGIQUE

HENRYK NIEWODNICZANSKI

(1900-1968)

Par le Prof. M. MIESOWICZ (Cracovie)

Le 20 décembre 1968, après un court séjour à l'hôpital, à Cracovie, mourait Henryk Niewodniczanski, un des plus renommés physiciens polonais. Quelques semaines avant il était encore plein d'énergie et d'activité; son décès fut une surprise douloureuse pour son entourage.

H. Niewodniczanski, membre de l'Académie Polonaise des Sciences, était professeur de physique à l'Université Jagellonne à Cracovie. Comme jeune physicien il faisait déjà autorité dans le domaine des radiations optiques multipolaires, mais ses dernières années furent consacrées plutôt à la physique nucléaire. Il avait créé le centre de physique nucléaire à Cracovie et il a fait beaucoup pour le développement de cette discipline en Pologne.

Né le 10 décembre 1900 à Wilno, H. Niewodniczanski fit ses études de physique à l'Université Stéphane Batory de cette ville où il obtint en 1926 le grade de docteur après avoir présenté une thèse consacrée à l'optique moléculaire. C'est à ce domaine de l'optique moléculaire et atomique qu'il consacra son séjour d'une année à l'Institut de Physique à Tubbingen où, dans le laboratoire de W. Gerlach, il étudia l'influence des champs magnétiques sur la fluorescence.

Le maximum de son activité dans ce domaine de l'optique atomique a lieu pendant les années après 1930. Le résultat en fut la découverte de plusieurs raies interdites, et la découverte de la radiation magnétique dipolaire. Cette dernière découverte fut le point de départ pour les recherches dans plusieurs laboratoires de divers pays.

A peu près en même temps H. Niewodniczanski commença à s'intéresser à la physique nucléaire. Ses travaux dans cette direction ont été influencés par son séjour au Royal Society Mond Laboratory, dirigé par Lord Rutherford of Nelson, et au Cavendish Laboratory en 1934-1935 et en 1937, où il a effectué avec C. M. Westcott un travail sur les neutrons ralentis jusqu'à la température de l'hydrogène liquide.

Après son retour en Pologne il commença d'organiser les travaux dans le domaine de la physique nucléaire, mais la Seconde Guerre mondiale ne lui permit pas de les continuer.

Après la guerre H. Niewodniczanski vient à Cracovie comme professeur de physique expérimentale à l'Université Jagellonne.

H. Niewodniczanski comprit très bien qu'après la dévastation due à la guerre il fallait commencer par l'éducation d'une nouvelle génération de

chercheurs. Dès les premières années d'après-guerre, il sut déjà réunir autour de lui un groupe de jeunes étudiants; il les dirigea à tous les degrés de leur carrière universitaire et ils forment aujourd'hui un groupe scientifique de valeur.

Cette activité porta ses fruits en 1955 quand on décida d'installer à Cracovie le cyclotron U-120, importé d'U.R.S.S., en confiant en même temps à H. Niewodniczanski l'organisation de l'Institut de Physique Nucléaire. Comme directeur de cet Institut il fut l'initiateur de la plupart des travaux qu'on y effectue: recherches sur les réactions nucléaires, la spectroscopie nucléaire, la structure de la matière par les méthodes nucléaires, la théorie des noyaux atomiques et des interactions nucléaires de hautes énergies, et même certaines applications industrielles.

Personnellement H. Niewodniczanski s'occupait principalement des problèmes des réactions nucléaires. Le groupe dirigé par lui a obtenu des résultats importants dans la recherche sur la polarisation des neutrons dans des réactions de « striping ». Dans un cycle de travaux sur la diffusion élastique des deutérons et des particules α par les divers noyaux on a obtenu des résultats expérimentaux importants, interprétés théoriquement sur la base du modèle optique d'interaction.

Les autres travaux de H. Niewodniczanski touchaient à la spectroscopie, comme par exemple la détermination des schémas de désintégration et des paramètres des états excités des noyaux déformés de la région des terres rares. Ces travaux ont été effectués avec l'appareillage construit sous la direction de H. Niewodniczanski. Entre autres, on a construit le double spectromètre toroïdal sans matériel magnétique, appareil unique dont il n'existe que quelques exemplaires semblables au monde.

H. Niewodniczanski a joué un rôle important dans la physique polonaise et son activité a fortement contribué au développement de cette discipline dans son pays. Il était membre très actif de la Société Polonaise de Physique et il fut un certain temps président de la section de Cracovie de cette Société. Depuis 1947 il fut plusieurs fois membre du Conseil Scientifique du Bureau National des Mesures de Pologne. Il avait beaucoup d'amis, qui admiraient ses œuvres et qui étaient toujours touchés par son attitude amicale envers tout le monde.

H. Niewodniczanski comprenait parfaitement le rôle que la physique joue dans la société moderne et le rôle de la coopération internationale dans la science d'aujourd'hui. Il était membre du Conseil scientifique de l'Institut Unifié des Recherches Nucléaires à Dubna (U.R.S.S.) et membre des Sociétés Américaine et Italienne de Physique. Il maintenait des contacts personnels avec plusieurs physiciens de divers pays et il avait de nombreux amis à l'étranger.

La forte personnalité de H. Niewodniczanski le conduisit à être élu membre du Comité International des Poids et Mesures en février 1966. Il participa régulièrement jusqu'à sa mort aux sessions annuelles du Comité International, ainsi qu'à la 13^e Conférence Générale des Poids et Mesures. Sa disparition prématurée prive le Comité International d'un membre de haute valeur qui laisse parmi ses collègues le souvenir d'un homme affable dont la collaboration à l'œuvre métrologique internationale des organismes de la Convention du Mètre se trouve ainsi brutalement interrompue.

INDEX

- Accélération due à la pesanteur
collaboration à réalisation appareils
transportables, 55
détermination absolue de g (nouvelles
valeurs; études diverses), 56
- Accord de siège, 12
- Allocations familiales (21 ans), 27
- Avertissement historique, 5
- Bâtiments
alimentation en eau, 34
lignes téléphoniques, 34
Observatoire (aménagement sous-sol;
380/220 V), 33
Pavillon (véranda atelier; logement
gardien), 33
- Budget 1970, 27
- Caisse de Retraites, 27
- Certificats, Notes d'étude, 97
- Comités Consultatifs
composition, présidence, réunions
futurs, 19
Rayonnements Ionisants, création de
quatre sections, 23
Unités, présentation du rapport, 13;
2^e rapport, 107; recommandation,
116
- Comité International, 7
bureau du (voir rapport du Secrétaire,
12)
décès (H. Niewodniczanski), 12, 123
démissions (Howlett, Astin), 12
élections (Honti, Preston-Thomas,
Branscomb), 12
membres honoraires (Astin, Howlett,
Bourdoun), 12, 30
rapport du Secrétaire, 12
- Commission Administrative, 12; rap-
port 26
- Comparaisons internationales
domaine des radiofréquences, 65
étalons de capacité de 10 pF, 64
étalons photométriques (5^e comparai-
son), 65
solution de ⁵⁶Mn, 78
- Comparateur photoélectrique et inter-
férentiel (adaptation à la méthode de
comptage de franges), 35, 39
- Comptage de franges, 35
- Comptes, 13, 104
- Conférence Générale 14^e (dotation BIPM;
préparation), 27, 28
- Convention du Mètre, suggestions en vue
centenaire, 30
- Dépôt des Prototypes métriques, visite,
26
- Documentation, 99
- Échelle Internationale Pratique de Tem-
pérature (voir Thermométrie)
- Échelles de temps
compétence du CIPM, 16
proposition de la PTB, 118
relations avec le BIH, 16
- Électricité
aménagements, équipement (salle 15),
62
bobines de passage, 63
comparaisons internationales (voir à
étalons de résistance en Pt, 63
transfert V (enceintes thermorégu-
lées), 63
- Étalons
électriques (voir Électricité)
longueur
à bouts, 46
à traits, 45
N° 1 pour mesure g , 58
- Étalons matériels de référence, 12;
proposition de coordination interna-
tionale par le BIPM, 15
- Fils géodésiques, 46
- Gravimétrie (voir Accélération due à la
pesanteur)
- Groupes de travail
composition, 20, 21
mesures neutroniques (réunion), 12
- Interférométrie, 46
comptage de franges, 35
mesures λ : laser He-Ne stabilisé, 50;
radiations Kr 86 IR proche, 46;
radiation 1,014 μm Hg 198, 48
profil radiation étalon primaire, 50

- Kilogramme Ni 2, masse volumique, 51
Krypton 86, radiation étalon primaire et radiations IR (*voir* Interférométrie)
- Laser He-Ne stabilisé, mesure λ , 50
Longueurs, 35
- Manométrie, manobaromètre interférentiel, 62
Masses, 51
Masse volumique
 eau, 52
 Kilogramme Ni 2, 51
 solutions MnSO_4 , 52, 93
Mercure 198, radiation 1,014 μm (*voir* Interférométrie)
Mesures neutroniques, 90
 solutions MnSO_4
 activité, 90, 91, 93
 analyse nucléaire, 91
 masse volumique, 52, 93
 période ^{56}Mn , 93
 sources
 neutrons $\text{D}(d, n)^3\text{He}$, 94
 Ra-Be (α, n) de 200 mCi, 92
 Ra-Be(γ, n) de 400 et 500 mCi, 92
Mètre prototype N° 2, 44
Metrologia, 28
Mole, 13, 108; recommandation, 116
- Nombre 1 en tant qu'unité SI, 112
Notice nécrologique (H. Niewodniczanski), 123
- Organismes internationaux et nationaux, travaux en liaison avec, 99
- Pascal, 15, 111
Personnel du BIPM, 9, 26, 33
 départ, 26, 33
 traitements, 27
 voyages, visites, exposés et conférences, 99
Phénomènes aléatoires, étude, 82
Photométrie
 5^e comparaison étalons nationaux intensité et flux lumineux, 65
Préfixes SI, 30, 110
Publications
 du Bureau, 94
 extérieures, 95
 rapports internes, 96
- Radionucléides, 78
 correction due au schéma désintégration du ^{56}Mn , 79
 dilution, expériences sur, 80
 ensemble de comptage par coïncidences $4\pi(\text{CP})-\gamma$, 81
- étude de phénomènes aléatoires: processus de renouvellement, 82; temps morts, 85
solution de ^{56}Mn , comparaison internationale, 78
sources
 ^{60}Co , de 2 mCi, activité, 71
 ^{60}Co , mesures périodiques, 79
 ^{60}Co et ^{54}Mn , électrolytiques, 80
spectrométrie α : appareillage, sources, plaques nucléaires, mesure sur ^{212}Bi , 87
Rapport du directeur, 25, 33
Rayonnements ionisants (*voir* Mesures neutroniques, Radionucléides, Rayons X et γ)
Rayons X et γ , 66
 activité source ^{60}Co de 1 Ci, 66
 chambres à cavité, 75
 exposition dans faisceau rayons γ du ^{60}Co : fonction $f_s(\Delta)$, 72; correction pour épaisseur cavité, 73
 influence vapeur d'eau sur ionisation dans l'air, 75
Recommandation 1 (1969) sur SI, 30
Règles étalons de 1 m (N^{os} 426, 12 929, 15 480, 346), 45
Rubans géodésiques, 46
- Siemens, 15, 111
Spectrométrie α , 87
Système International d'Unités (SI) (*voir* aussi à Unités)
 document sur, 113
 emploi abréviation SI avec noms ou symboles d'unités composées, 112
 nombre 1 comme unité SI, 112
 unités et préfixes SI, 15, 119; recommandation, 30
- Temps atomique (*voir* Échelles de temps)
Thermométrie
 E.I.P.T., 59; calculs, 61
 t thermodynamique Au, 60
- Unités (*voir* aussi à SI)
 Comité Consultatif, 13; 2^e rapport, 107
 en dehors du SI, classement, 15, 114
 noms: pascal et siemens, 15, 111
 qualificatifs à noms et symboles d'unités, 115
 quantité de matière (mole), 13, 108; recommandation 116
 symboles et abréviations (dans machines traitement information), 15, 113
- Visites et stages au BIPM, 102
Voyages, visites, exposés et conférences personnel du BIPM, 99

TABLE DES MATIÈRES

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

58^e Session (Octobre 1969)

	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, 7-9 octobre 1969	11
Ouverture de la session; quorum. Bienvenue aux nouveaux membres. Éloge de H. Niewodniczanski décédé le 20 décembre 1968. Démission de I. I. Novikov et invitation faite à B. M. Issaev d'assister aux séances de cette session....	11
Approbation de l'ordre du jour et constitution de la Commission Administrative	12
<i>Rapport du Secrétaire du Comité International</i> (Membres du Comité International : décès de H. Niewodniczanski; démissions de L. E. Howlett et A. V. Astin, élus membres honoraires; élections de P. Honti, H. Preston-Thomas et L. M. Branscomb. Accord de siège : signature de cet Accord ratifié par le Comité; ratification en cours par les Autorités françaises. Réunions de Comités Consultatifs et de Groupes de travail. Étalons matériels de référence : réunion de Gaithersburg pour l'étude d'un programme international dont serait chargé le Bureau International. Indications financières)	12
<i>Rapport du Comité Consultatif des Unités</i> (Nouvel examen de la question de l'adoption de l'unité de <i>quantité de matière (mole)</i> comme unité de base du SI; approbation de la proposition présentée par le C. C. U. pour être soumise à la 14 ^e Conférence Générale. Unités : classification en trois catégories des unités en dehors du SI; adoption de la <i>Recommandation 1</i> (1969) concernant les appellations <i>unités SI</i> et <i>préfixes SI</i> . Adoption des noms spéciaux <i>siemens</i> et <i>pascal</i> . Mise en garde contre l'emploi de symboles et abréviations impropres pour les noms d'unités dans les machines pour le traitement de l'information)	13
Étalons matériels de référence : discussion sur une proposition de coordination internationale par le Bureau International (Réunion tenue en mai 1969 à Gaithersburg; un programme de travail restreint pourrait être confié au Bureau International; création d'une commission préparatoire pour l'étude et la mise en œuvre d'un tel programme)	15

Échelles de temps : la compétence du C.I.P.M. doit-elle être étendue à ces échelles? (Mission du Bureau International de l'Heure; coopération possible entre le B. I. H. et les organismes de la Convention du Mètre)	16
Comités Consultatifs : composition, présidence, réunions futures (Rappel de la mission des Comités Consultatifs. Révision de la composition des sept Comités Consultatifs et de leurs Groupes de travail : Électricité, Photométrie, Thermométrie, Définition du Mètre, Définition de la Seconde, Rayonnements Ionisants (subdivision de ce Comité Consultatif en quatre sections indépendantes : mesure des rayons X et γ , mesure des radionucléides, mesures neutroniques, étalons d'énergie α), Unités. Dates des prochaines réunions)	19
<i>Rapport du directeur et travaux du Bureau International</i> (Présentation du rapport : voir détails plus loin)	25
Programme futur du Bureau International (Trois sujets d'étude sont approuvés : mesure de c , stabilisation de la λ d'un laser à l'aide de raies d'absorption moléculaire, utilisation de l'effet Josephson pour le contrôle de f.é.m.)	25
Visite du dépôt des Prototypes métriques	26
<i>Commission Administrative</i> : Compte rendu de la réunion (Personnel : retraite d'un physicien et départ d'un technicien. Caisse de Retraites; participation du Bureau maintenue à 10 % du montant des traitements. Approbation de l'exercice 1968. Traitements du personnel et allocations familiales : propositions d'avancement; relèvement de la grille des traitements de base; prolongation jusqu'à 21 ans de la limite d'âge pour les allocations familiales. Budget 1970. Contributions des États payées en monnaies non convertibles. Dotation du Bureau à prévoir)	26
Approbation des propositions de la Commission Administrative et du budget pour 1970	27
Préparation de la 14 ^e Conférence Générale des Poids et Mesures (Envoi des documents de travail 1 à 2 ans à l'avance; possibilité de sessions plus fréquentes du Comité International à proximité de la Conférence, et ailleurs qu'à Sèvres)	28
<i>Metrologia</i> (Échange de vues sur la situation de cette revue métrologique internationale)	28
<i>Questions diverses</i>	
Conférence de Gaithersburg sur les mesures de précision et les constantes fondamentales (Patronage du B.I.P.M.; présence de deux physiciens du Bureau)	29
Participation du B.I.P.M. à diverses réunions internationales (Relations avec diverses organisations internationales; 75 ^e anniversaire de l'Institut de Métrologie D. I. Mendéléev et 50 ^e anniversaire du Système Métrique en U.R.S.S.; visites diverses)	29
Mètre international (Prochaine comparaison à la radiation étalon primaire)	29
Ampère (Il est suggéré que le C.C.E. envisage une nouvelle définition)	30
Centenaire de la Convention du Mètre (Suggestions pour la préparation de cet anniversaire en 1975)	30
Honorariat (G. D. Bourdoun est nommé membre honoraire du Comité International)	30
<i>Recommandation 1</i> (1969) : Modalités d'application de la Résolution 12 de la 11 ^e Conférence Générale (1960) sur le Système International d'Unités... ..	30
Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau International (1 ^{er} octobre 1968-1 ^{er} octobre 1969)	33
I. PERSONNEL. — (Situation. Retraite de V. Naggiar)	33
II. BÂTIMENTS. — Observatoire (Mise en service de la tension 380/220 V. Aménagement d'un local en sous-sol. Peinture de l'escalier et du couloir des bureaux). Petit Pavillon (Construction d'une véranda en façade de l'atelier de mécanique. Aménagements dans le logement du gardien). Services généraux et dépendances (Mise en service de trois nouvelles lignes téléphoniques exté-	

rieures. Alimentation en eau par une ancienne canalisation remise en état. Réfection de la couverture des garages)	33
III. INSTRUMENTS ET TRAVAUX	34
Remarques générales sur les principaux travaux effectués et les résultats obtenus	34
<i>Longueurs.</i> — Comparateur photoélectrique et interférentiel; comptage de franges (Description et fonctionnement du dispositif à comptage de franges; premiers résultats obtenus). Étalons à traits (Mètre prototype N° 2 [Suisse], micromètre objectif sur verre [Tchécoslovaquie], Règles N°s 426 [Hongrie], 12 929 [Société Genevoise], 15 480 [R.A.U.], 346 [Tchécoslovaquie], 2 R [B.I.P.M.]). Étalons à bouts (Broches en silice fondue de 0,99 m [Mexique], calibres divers [Pays-Bas, Suède, Suisse]). Base géodésique (Fils et rubans)	35
<i>Interférométrie.</i> — Radiations du Kr 86 dans l'IR proche (Étude, à l'interféromètre de Michelson, de neuf radiations produites par une lampe de Engelhard: mesure de la λ , visibilité, variations de la λ en fonction de la t de la lampe, symétrie des profils, influence de l'intensité du courant). Radiation 1,014 μm du Hg 198. Mesure de la λ d'un laser He-Ne stabilisé; essai de mesure de la dissymétrie du profil de la radiation étalon	46
<i>Masses.</i> — Études courantes (Étalonnage de la série O (500 g à 1 mg) du Bureau. Masse volumique d'un ancien Kilogramme en Ni. Étalons divers [Belgique, Norvège, Irlande, France]). Masse volumique d'une solution de MnSO_4 . Masse volumique de l'eau (Suite de l'étude de l'influence de la composition isotopique de l'eau sur sa masse volumique. Réalisation d'un bain à température réglable pour des mesures relatives par la méthode du plongeur)	51
<i>Gravimétrie.</i> — Détermination absolue de g (Collaboration à la réalisation d'appareils absolus transportables. Nouvelles valeurs pour 1967-1968 et nouvelles valeurs provisoires obtenues en 1969. Étude de causes d'erreurs systématiques diverses: charges électrostatiques, freinage par l'air résiduel, neutralisation des microséismes à longue période. Comparaison de l'étalon de longueur N° 1 par deux interféromètres. Matériel acquis et construit)	55
<i>Thermométrie.</i> — Réalisation de l'E.I.P.T. entre le point triple de l'eau et le point de congélation de Au. Premières mesures de la température thermodynamique du point de congélation de Au. Études courantes de thermomètres à mercure. Calculs relatifs à l'E.I.P.T. de 1968	59
<i>Manométrie.</i> — (Améliorations au manobaromètre interférentiel; étalonnage d'un manomètre différentiel à soufflet et contrôle de l'ancien manobaromètre (1883) du Bureau)	62
<i>Électricité.</i> — Aménagements et équipement (Amélioration de l'isolement thermique de la salle d'électricité; essai de la nouvelle cuve pour piles étalons; achats d'un potentiomètre Guildline et d'étalons; révision des appareils en service). Mesures périodiques des étalons de résistance en Pt. Bobines de passage de 1 à 100 Ω et de 100 à 10 000 Ω . Transfert du « volt » au moyen de piles conservées à température constante dans une enceinte thermorégulée (Premiers essais). Groupe de référence des piles étalons du Bureau. Études courantes (Mesures d'étalons de résistance et de f.é.m. pour divers pays). Comparaisons circulaires des étalons de capacité de 10 pF et dans le domaine des radiofréquences (Situation des comparaisons en cours et prévues)	62
<i>Photométrie.</i> — Achèvement de la 5 ^e comparaison internationale des étalons photométriques	65
<i>Rayons X et γ.</i> — Mesure de l'activité d'une source de ^{60}Co de l'ordre de 1 Ci par comparaison à une source d'environ 2 mCi dont l'acti-	

<p>tivité a été déterminée par une mesure absolue. Travaux préparatoires à la détermination de l'exposition dans un faisceau de rayons γ du ^{60}Co à l'aide de chambres à cavité (Calcul de la fonction $f_s(\Delta)$; correction due à l'épaisseur de la cavité; mise en place et centrage de la nouvelle source de ^{60}Co; chambre à cavité en graphite). Influence de la vapeur d'eau sur l'ionisation produite dans l'air</p>	66
<p><i>Radionucléides.</i> — Étalonnage de sources radioactives (Participation à la comparaison internationale d'une solution de ^{56}Mn; calcul de la correction due au schéma de désintégration du ^{56}Mn; mesures périodiques des sources étalons de ^{60}Co; préparation de sources électrolytiques et étalonnage d'une solution de ^{60}Co; expériences sur la dilution; mesure absolue de l'activité d'une source de ^{60}Co de 2 mCi; ensemble N° 2 de comptage par coïncidences $4\pi(\text{CP})-\gamma$). Étude de phénomènes aléatoires (Superposition de processus de renouvellement; incertitude d'un écart-type; nouvelle méthode pour la mesure des temps morts). Spectrométrie α (Amélioration des dispositifs de stabilisation et de mesure du champ magnétique; refroidissement de l'électro-aimant; porte-source du spectrographe; préparation des sources pour mesures absolues d'énergie; plaques nucléaires; premiers résultats de mesures sur le ^{212}Bi)</p>	78
<p><i>Mesures neutroniques.</i> — Sources Ra-Be (α, n) et Ra-Be (γ, n) (Amélioration de la précision dans la méthode de mesure de l'activité des solutions de MnSO_4; analyse nucléaire des solutions de MnSO_4; étalonnage de la mesure d'activité dans les sphères; sources Ra-Be (α, n) de 200 mCi et Ra-Be (γ, n) de 500 mCi; comparaison des mesures au N.P.L. et au B.I.P.M. du taux d'émission de la source Ra-Be (γ, n) de 400 mCi N° 2C du N.P.L.; mesure du taux d'émission des sources de neutrons par la mesure de l'activité de la solution dans une enceinte hors de la sphère par circulation permanente de liquide irradié; mesure de la période du ^{56}Mn; masse volumique des solutions de MnSO_4). Source de neutrons $\text{D}(d, n)^3\text{He}$</p>	90
Publications du Bureau	94
Publications extérieures	95
Rapports internes	96
Certificats et Notes d'études	97
IV. ACTIVITÉS ET RELATIONS EXTÉRIEURES	99
Documentation; Système International d'Unités	99
Travaux en liaison avec des organismes internationaux et nationaux	99
Voyages, visites, exposés et conférences du personnel	99
Visites et stages au Bureau International	102
V. COMPTES. — (I. Fonds ordinaires. II. Caisse de Retraites. III. Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique. IV. Laboratoire pour les radiations ionisantes. Bilan)	104
Deuxième Rapport du Comité Consultatif des Unités au Comité International des Poids et Mesures, par E. Rudberg	107
Annexe	
1. Proposition d'une activité dans le domaine des échelles de temps pour la Conférence Générale et le Comité International des Poids et Mesures, par G. Becker	118
Notice nécrologique	
H. Niewodniczanski, par M. Mięslowicz	123
INDEX	125

ERRATUM

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

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

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

