

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

PROCÈS-VERBAUX

DES SÉANCES

2^e SÉRIE — TOME 41

62^e SESSION — 1973

(2-4 octobre)



BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Pavillon de Breteuil, F 92310 SÈVRES, France

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

ISBN 92-822-2029-X

NOTICE HISTORIQUE

Les organes de la Convention du Mètre

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

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

Le Bureau International a son siège près de Paris, dans le domaine (45 520 m²) 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 du *Comité International des Poids et Mesures* (C.I.P.M.), placé lui-même sous l'autorité de la *Conférence Générale des Poids et Mesures* (C.G.P.M.).

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

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

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

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

Une trentaine de physiciens ou techniciens travaillent dans les laboratoires du Bureau International; ils font des recherches métrologiques ainsi que des mesures dont les résultats sont consignés dans des certificats portant sur des étalons des grandeurs ci-dessus. Le budget annuel du Bureau International est de l'ordre de 4 000 000 de francs-or, soit environ 1 600 000 dollars U.S.

⁽¹⁾ Au 31 décembre 1973, quarante-trois États sont membres de cette Convention : Afrique du Sud, Allemagne (Rép. Fédérale d'), Allemande (Rép. Démocratique), Amérique (É.-U. d'), Argentine (Rép.), Australie, Autriche, Belgique, Brésil, Bulgarie, Cameroun, Canada, Chili, Corée, Danemark, Dominicaine (Rép.), Espagne, Finlande, France, Hongrie, Inde, Indonésie, Irlande, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Pakistan, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Arabe Unie, Roumanie, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, Thaïlande, Turquie, U.R.S.S., Uruguay, Venezuela, 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, de membres individuels désignés également par le Comité International et d'un représentant du Bureau International. Ces Comités tiennent leurs sessions à des intervalles irréguliers; ils sont actuellement au nombre de sept :

1. Le *Comité Consultatif d'Électricité* (C.C.E.), créé en 1927.
2. Le *Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie* (C.C.P.R.), nouveau nom donné en 1971 au *Comité Consultatif de Photométrie* (C.C.P.) créé en 1933 (de 1930 à 1933 le Comité précédent (C.C.E.) s'est occupé des questions de photométrie).
3. Le *Comité Consultatif de Thermométrie* (C.C.T.), créé en 1937.
4. Le *Comité Consultatif pour la Définition du Mètre* (C.C.D.M.), créé en 1952.
5. Le *Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde* (C.C.D.S.), créé en 1956.
6. Le *Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants* (C.C.E.M.R.I.), créé en 1958. Depuis 1969 ce Comité Consultatif est constitué de quatre sections: Section I (Rayons X et γ , électrons), Section II (Mesure des radionucléides), Section III (Mesures neutroniques), Section IV (Étalons d'énergie α).
7. Le *Comité Consultatif des Unités* (C.C.U.), créé en 1964.

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

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

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 (SI) dans le monde.

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.

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 organes de la Convention du Mètre.

LISTE DES MEMBRES
DU
COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

AU 4 OCTOBRE 1973

Président

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

Vice-Président

2. J. V. DUNWORTH, Directeur du National Physical Laboratory, *Teddington*, Middlesex TW11 OLW (Grande-Bretagne).

Secrétaire

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

Membres

4. E. AMBLER, Deputy Director, National Bureau of Standards, *Washington* D.C. 20234.
5. L. CINTRA DO PRADO, Professeur à l'Université, Alameda Rocha Azevedo 1274 (Apt. 71), *São Paulo*, S.P.-01410.
6. E. DJAKOV, Directeur de l'Institut d'Électronique, Académie des Sciences de Bulgarie, *Sofia* 13.
7. P. HONTI, Vice-Président de l'Office National des Mesures, Németvölgyi ut. 37-39, *Budapest XII*.
8. B. M. ISSAEV, Vice-Président du Comité d'État des Normes du Conseil des Ministres de l'U.R.S.S., Leninski prosp. 9 b, *Moscou* M-49.

9. F. J. LEHANY, Chef de la Division of Applied Physics, National Standards Laboratory, University Grounds, City Road, *Chippendale*, N.S.W. 2008 (Australie).
10. A. MARÉCHAL, Directeur Général de l'Institut d'Optique, 3-5 boulevard Pasteur, 75015 *Paris*.
11. A. PERLSTAIN, Directeur du Bureau Fédéral des Poids et Mesures, Lindenweg 24, 3084 *Wabern* (Suisse).
12. H. PRESTON-THOMAS, Sous-Directeur de la Division de Physique du Conseil National de Recherches, *Ottawa* K1A OS1.
13. M. SANDOVAL VALLARTA, Membre de la Commission Nationale de l'Énergie Nucléaire, Insurgentes Sur 1079, *Mexico* 18, D. F.
14. K. SIEGBAHN, Directeur de l'Institut de Physique, Box 530, 75121 *Uppsala* 1 (Suède).
15. U. STILLE, Président de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 33 *Braunschweig*.
16. J. STULLA-GÖTZ, Ancien Président du Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Gentzgasse 3, 1180 *Wien*.
17. Y. TOMONAGA, Président de la Japan Society for the Promotion of Machine Industry, 1-1-12 Hachiman-cho, Higashikurume-City, *Tokyo* (¹).
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. 20234.
2. G. D. BOURDOUN, Institut de Métrologie, Chaire de Métrologie, Vadkovski per. 3 a, Stankin, *Moscou* A-55.
3. L. M. BRANSCOMB, Old Orchard Road, *Armonk*, N.Y. 10504.
4. L. DE BROGLIE, de l'Académie Française, Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences, 94 rue Perronet, 92200 *Neuilly-sur-Seine*.
5. N. A. ESSERMAN, 2/29 A Stawell Street, *Kew*, Victoria 3101.
6. R. H. FIELD, 32 Highgate Gardens, *St. Michael* (Barbados, B.W.I.).
7. L. E. HOWLETT, 51 Southern Drive, *Ottawa* 1, Ontario.
8. M. KERSTEN, Ancien Président de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 33 *Braunschweig*.
9. M. SIEGBAHN, Directeur du Nobelinstitutet för Fysik, *Stockholm* 50.

(¹) Mr TOMONAGA a donné sa démission comme membre du C.I.P.M. le 6 novembre 1973.

LISTE DU PERSONNEL

DU

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

AU 1^{er} JANVIER 1974

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. Hamon,
J. Bonhoure, J. W. Müller,
V. D. Huynh, T. Witt, G. Girard,
J.-M. Chartier, D. Reymann, J.
Azoubib.

Techniciens et Calculateurs

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

Mécaniciens

R. Michard, G. Boutin, C. Gilbert,
J. Leroux, J. Dias, F. Perez,
D. Rotrou.

ADMINISTRATION ET SERVICES

Métrologiste rédacteur

H. Moreau.

Administrateur

A. Jeannin.

Secrétaires

M^{lles} J. Monprofit, D. Guégan.
M^{mes} B. Petit, A. Delfour.
M^{me} G. Pedrielli (contractuelle).

Gardiens

A. Montbrun, L. Lecoufflard.

Services d'entretien généraux

1 agent (A. Gama).
4 employés (contractuels).

Directeur honoraire : Ch. Volet
Adjoint honoraire : A. Bonhoure

ORDRE DU JOUR DE LA SESSION

1. Ouverture de la session; quorum; approbation de l'ordre du jour.
2. Rapport du Secrétaire du Comité.
3. Centenaire de la Convention du Mètre et réunions en 1975.
4. Rapport du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre.
5. Compte rendu de l'Assemblée générale de l'U.A.I. et de la réunion de l'I.S.O./TC 12.
6. Travaux du B.I.P.M.
7. Comités Consultatifs: composition; réunions futures.
8. Visite du Dépôt des prototypes métriques.
9. Questions administratives.
10. Questions diverses.

62^e SESSION (OCTOBRE 1973)

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

TENUES A SÈVRES

Présidence de Mr J. M. OTERO

Le Comité International s'est réuni pour sa 62^e session les mardi 2, mercredi 3 et jeudi 4 octobre 1973. Il a tenu cinq séances au Pavillon de Breteuil.

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

Interprètes: MM. Oboukhov, Sakuma et Vigoureux.

Excusés: MM. LEHANY et SANDOVAL VALLARTA.

Absent: Mr VERMA.

Secrétaire: M^{lle} Monprofit.

1. Ouverture de la session; quorum; approbation de l'ordre du jour

Le *Président* ouvre la séance en souhaitant la bienvenue aux membres du Comité et constate que le quorum est atteint. Il transmet les excuses de Mr Lehany et de Mr Sandoval Vallarta qui regrettent vivement d'être empêchés de prendre part aux travaux de cette session. Il demande au Comité son approbation pour que A. Sakuma (B.I.P.M.) puisse assister Mr Tomonaga comme interprète au cours de la présente session.

Le *Président* rappelle le décès de R. Vieweg survenu deux jours après la clôture de la précédente session. Mr *de Boer* évoque l'œuvre de R. Vieweg au sein du Comité depuis son élection en 1952. « Nous avons toujours admiré, dit-il, la sagesse avec laquelle R. Vieweg dirigeait les séances du Comité et de la Conférence Générale. Il savait maintenir une atmosphère agréable dans les séances de travail. Nous gardons de lui le souvenir d'un très grand scientifique et nous lui sommes reconnaissants pour la direction qu'il a donnée à notre organisation à une époque difficile. »

Au nom du Comité, le Président adresse un télégramme de sympathie à M^{me} Vieweg, à l'occasion de la présente session.

L'ordre du jour proposé est adopté (p. 10).

Mr de Boer, secrétaire du Comité, donne lecture de son rapport.

2. Rapport du Secrétaire du Comité

(18 octobre 1972 — 1^{er} octobre 1973)

1. *États membres de la Convention du Mètre.* — Le Ministère des Affaires Étrangères de France a informé le Président du Comité de la demande d'adhésion du Pakistan (12 juillet 1973); la contribution d'entrée et la première contribution annuelle de cet État ne sont pas encore reçues (1).

La République Démocratique Allemande et la République Fédérale d'Allemagne seront désormais inscrites sous ces noms sur la liste des États membres de la Convention dans les publications du B.I.P.M.

Avec le Pakistan et la représentation des deux États allemands, quarante-trois États figurent sur cette liste.

2. *Membres du Comité International.* — La composition du Comité International est inchangée depuis octobre 1972. Mr E. Ambler, élu le 22 juin 1972 alors qu'il était directeur de l'Institute for Basic Standards du National Bureau of Standards, est devenu « deputy director » du N.B.S. depuis juin 1973.

3. *Réunion du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre.* — Ce Comité Consultatif a tenu sa cinquième session du 13 au 15 juin 1973 au Pavillon de Breteuil. Son président J. M. Otero ayant été empêché pour des raisons de santé, le bureau du Comité a prié notre collègue U. Stille de le remplacer à cette session. Plusieurs personnalités représentatives des milieux astronomiques étaient invitées, afin que les questions relatives à la vitesse des ondes électromagnétiques dans le vide soient éclaircies par la confrontation des points de vue des astronomes et des métrologistes. Les recommandations adoptées et le projet du rapport de cette session ont été communiqués à tous les membres du Comité International.

4. *Bureau du Comité International.* — Les principales questions dont le bureau du Comité a eu à s'occuper concernent

- la préparation de la réunion du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre;
- les salaires du personnel;
- une discussion préliminaire sur les améliorations à apporter au règlement interne du personnel.

5. *Indications financières.* — Le tableau ci-après donne la situation de l'actif du B.I.P.M., en francs-or, au 1^{er} janvier des années portées en tête de colonne :

	1970	1971	1972	1973
Fonds ordinaires	1 509 404,64	1 705 698,88	1 917 679,20	2 673 129,92
Caisse de retraites	249 714,20	287 973,41	368 624,23	444 635,53
Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique.....	8 663,59	8 663,59	21 763,59	21 763,59
Totaux	1 767 782,43	2 002 335,88	2 308 067,02	3 139 529,04

Mr Terrien demande si le B.I.P.M. doit envoyer aux Ambassades des États adhérents à la Convention du Mètre une lettre pour les informer

(1) Ces deux contributions ont été reçues le 9 octobre 1973.

de la modification de la liste des États adhérents en ce qui concerne la République Démocratique Allemande et la République Fédérale d'Allemagne. Le B.I.P.M. prendra l'avis du Ministère des Affaires Étrangères à ce sujet.

Pour l'établissement de la notification des contributions, le B.I.P.M. attend que soient publiés les coefficients de l'Organisation des Nations Unies qui serviront à établir la répartition des contributions dans les trois années à venir.

Ce rapport, qui ne fait l'objet d'aucun autre commentaire, est approuvé.

3. Centenaire de la Convention du Mètre et du B.I.P.M. en 1975

Mr Terrien rappelle que la célébration du centenaire de la Convention du Mètre sera organisée conjointement par les services du Gouvernement français, par le C.I.P.M. et par le B.I.P.M. Il existe au Ministère des Affaires Culturelles un service spécialisé qui est chargé des manifestations commémoratives en France. Une commission a été nommée qui s'occupe du centenaire de la Convention du Mètre. Cette commission s'est déjà réunie plusieurs fois. Les manifestations suivantes ont été retenues :

1° Une séance doit avoir lieu à l'Académie des Sciences de Paris, peut-être une séance solennelle « sous la Coupole ».

2° Un timbre postal spécial sera émis par l'administration française des Postes et Télécommunications. L'émission des timbres est laissée à l'initiative des États, l'Union Postale Universelle n'ayant aucun regard sur l'émission des timbres dans les divers pays. Il a été également question qu'une « flamme » utilisée pour l'oblitération des timbres rappelle ce centenaire.

3° Le service de la Monnaie doit frapper une médaille.

4° Un film cinématographique portant sur la métrologie sera produit, peut-être par l'Office de Radiodiffusion Télévision Française. Un problème financier se pose toutefois, car la production d'un film est très coûteuse; il faudrait peut-être trouver d'autres sources de financement.

5° Le Ministère de l'Éducation Nationale a accueilli favorablement la suggestion de préparer des commentaires destinés aux élèves et aux étudiants, avec des textes adaptés à l'âge.

6° Une exposition à caractère scientifique et métrologique se tiendra au Palais de la Découverte à Paris.

Cela concerne les manifestations prévues en France. Il convient que dans chaque pays les services nationaux compétents préparent une célébration à l'échelon national.

Sur le plan international, on prévoit une manifestation au Ministère des Affaires Étrangères, dans la salle où fut signé le traité de la « Conven-

tion du Mètre », la séance solennelle déjà mentionnée à l'Académie des Sciences et une invitation par le Président de la République Française à l'Élysée. Il y aura également une réception au Pavillon de Breteuil ainsi qu'une visite des laboratoires. Il ne faut pas non plus oublier le volume qui sera imprimé à l'occasion du centenaire sur l'œuvre du B.I.P.M., volume qui fera suite à celui qui fut publié à l'occasion du cinquanteaire.

Mr Giacomo, qui est spécialement chargé de cette publication, expose le travail préliminaire déjà fait. On s'est demandé s'il convenait de faire un volume très technique, comme était le volume du cinquanteaire, ou au contraire un volume plus vulgarisé, accessible aux non-spécialistes. C'est cette seconde solution qui a été choisie. En effet, les non-spécialistes ne sont pas touchés par les publications habituelles du B.I.P.M. Une rédaction provisoire de deux chapitres est déjà faite; elle a permis de fixer un niveau et un style.

Mr *de Boer* souhaite que le volume du centenaire comporte quelques articles sur les progrès du SI: certains articles généraux, ainsi que des articles sur l'adoption du SI aux États-Unis et en Grande-Bretagne. A cet égard, Mr *Issaev* est favorable à un article sur les progrès du SI qu'il voudrait aussi détaillé que possible en ce qui concerne les pays qui n'adhèrent pas à la Convention du Mètre.

Mr *Terrien* attire l'attention sur la publication par le B.I.P.M., à l'occasion des Conférences Générales, d'un rapport faisant le point sur la situation du système métrique et du SI aussi bien dans les pays membres de la Convention du Mètre que dans ceux qui n'en sont pas membres. Le B.I.P.M. s'efforce d'obtenir la documentation nécessaire.

Mr *Ambler* et Mr *Dunworth* signalent qu'il serait difficile d'écrire un article sur l'état d'avancement de l'utilisation du SI dans leur pays respectif. Aux États-Unis plusieurs projets de loi sont en cours de préparation; il est difficile d'en faire état et il faut attendre que le Congrès se soit prononcé à leur sujet.

Pour le *Président*, on ne peut nier la tendance de plus en plus marquée à utiliser le SI; ne pas mentionner ce fait devant le grand public serait à son avis une erreur.

Mr *Dunworth* fait remarquer que le SI et le passage aux mesures métriques sont deux choses différentes. L'emploi du système métrique est d'ailleurs légalement autorisé en Grande-Bretagne depuis 1864 où il est utilisé ne serait-ce que dans le commerce extérieur.

En ce qui concerne l'exposition prévue au Palais de la Découverte, Mr *Terrien* indique qu'aucune discussion détaillée n'a eu lieu jusqu'à maintenant. Mr *Ambler* demande si cette exposition montrerait par exemple les progrès faits dans les définitions des unités de base. Mr *de Boer* suggère que, de retour dans son pays, chaque membre du Comité s'informe sur les objets qui pourraient être prêtés pour cette exposition.

Mr *Terrien* fait part au Comité du projet de l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée de réunir à Paris en mai 1975, à une date très voisine de celle de la Conférence Générale de 1975, la « Conférence des Masses Atomiques et Constantes Fondamentales » dont la précédente s'était tenue en 1971 à Teddington; la plupart des sujets traités au cours de ces conférences sont communs à la métrologie et aux constantes physiques. Aucune remarque n'est faite sur cette proposition que Mr *Stille* appuie en tant que membre de la Commission des Masses atomiques et constantes fondamentales de l'U.I.P.P.A.

4. Calendrier provisoire des réunions en mai 1975

Mr *Terrien* propose le calendrier provisoire suivant pour les réunions de la 15^e Conférence Générale et du C.I.P.M. en mai 1975

		<i>Matin</i>	<i>Après-midi</i>
Lundi	26 mai 1975		CIPM (1)
Mardi	27 »	CIPM (2)	CGPM (1)
Mercredi	28 »	CIPM (3)	Académie des Sciences
Jeudi	29 »	CGPM (2)	Réception à l'Élysée
Vendredi	30 »	CGPM (3)	Réception au Pavillon de Breteuil et visites des laboratoires du BIPM
Samedi	31 »	} Libres	
Dimanche	1 ^{er} juin		
Lundi	2 »	CIPM (4)	CGPM (4)
Mardi	3 »	CIPM (5)	CGPM (5)

Les dates de la séance à l'Académie des Sciences et de la réception à l'Élysée sont sujettes à révision. Il se peut en effet que des impératifs purement français obligent à modifier ce projet. Les membres du Comité seront informés des dates définitives lorsque celles-ci seront fixées.

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

Mr *Stille* présente les travaux de la 5^e session du C.C.D.M. qui s'est réuni du 13 au 15 juin 1973 et dont le rapport provisoire a été envoyé aux membres du C.I.P.M. à la fin de juillet (voir le rapport définitif p. 98). En préparation de cette réunion, le B.I.P.M. avait adressé un questionnaire aux membres du C.C.D.M., puis il avait rassemblé et diffusé les réponses. Les discussions ont porté sur les problèmes qui sont en relation avec l'étalon primaire de longueur, c'est-à-dire la radiation étalon du krypton 86. On a également discuté des étalons secondaires de longueur d'onde, ainsi que des mesures de la longueur d'onde et de la fréquence des lasers asservis sur le méthane, l'iode et le gaz carbonique. On a dressé

deux tableaux des résultats obtenus pour les longueurs d'onde des lasers asservis sur l'iode et sur le méthane.

Le C.C.D.M. a entendu les arguments des deux parties en présence, les astronomes et les métrologistes. Il était clair que les astronomes ont besoin pour leurs travaux d'une valeur numérique pour la vitesse de la lumière dans le vide; de plus, cette valeur figure dans le système de constantes astronomiques de l'Union Astronomique Internationale.

Le C.C.D.M. a proposé pour la vitesse de la lumière dans le vide la valeur 299 792 458 mètres par seconde, avec une incertitude relative de 4×10^{-9} , la seconde étant définie par l'étalon à césium 133 et le mètre par l'étalon du krypton 86. Cette valeur pourra servir ultérieurement pour une redéfinition du mètre et de la seconde, si les résultats expérimentaux des recherches en cours confirment la valeur proposée avec des écarts inférieurs à l'incertitude de 4×10^{-9} .

Il n'est pas possible pour le C.I.P.M. de préparer dès maintenant pour la Conférence Générale de 1975 des projets de résolutions en rapport avec les conclusions du C.C.D.M. Il faudrait auparavant une autre réunion du C.C.D.M. et il est peu vraisemblable que d'ici à l'année prochaine les laboratoires aient pu obtenir de nouveaux résultats précis. Il faut attendre que les valeurs présentées en 1973 soient confirmées par d'autres laboratoires nationaux. Quelques laboratoires ont en cours des recherches sur la fréquence et sur la longueur d'onde de la raie d'absorption du méthane; d'autres recherches intéressantes connexes sont en cours, en particulier au N.B.S. à Boulder.

Les astronomes présents à la session du C.C.D.M. ont dit qu'ils auraient peut-être un jour besoin d'une précision relative meilleure que 10^{-9} . Pour le moment, une précision de 10^{-6} suffit aux géophysiciens. La valeur de la vitesse de la lumière avec une incertitude de 4×10^{-9} est donc actuellement suffisante.

Mr *de Boer* tient à faire la remarque suivante. Il est possible que, dans le futur, du point de vue de la métrologie expérimentale, le mètre et la seconde ne soient plus des unités de mesure indépendantes, mais il n'est pas dans l'intention du C.I.P.M. de modifier le SI et le choix des unités de base. Il ne saurait en effet être question de changer le SI, mais seulement la base métrologique qui pourrait être la même pour la réalisation pratique du mètre et de la seconde.

Mr *Stille* rappelle qu'en 1971 le Comité Consultatif des Unités a eu une discussion de fond sur ce problème et qu'il a abouti à une distinction très nette entre indépendance dimensionnelle et indépendance métrologique. Le SI comprend sept unités de base indépendantes dans le sens dimensionnel et pourtant, par exemple, l'ampère n'est pas indépendant au sens métrologique. Il est fondamental de faire connaître cette distinction car des malentendus risquent de se répandre. Mr *Stille* a déjà lu qu'avec une définition à partir d'une valeur conventionnelle de la vitesse de la lumière la longueur serait une grandeur dérivée.

Mr *Ambler* félicite Mr *Stille* pour les résultats, et en particulier les recommandations, auxquels le C.C.D.M. est arrivé. Le C.I.P.M. approuve à l'unanimité les recommandations du C.C.D.M. ainsi que la déclaration qui doit être insérée dans le rapport définitif.

Le *Président* insiste sur la Recommandation M 3 relative à la poursuite des mesures de la fréquence et de la longueur d'onde des radiations de lasers asservis.

6. Compte rendu sur les travaux de la 15^e Assemblée Générale de l'Union Astronomique Internationale (U.A.I.) et de la réunion du Comité Technique TC 12 de l'Organisation Internationale de Normalisation (I.S.O.)

Mr *Terrien* rend compte de l'Assemblée Générale de l'U.A.I. qui s'est tenue à Sydney en août 1973 et à laquelle il a assisté. Une quarantaine de Commissions, chacune chargée d'un domaine de l'astronomie, se sont réunies. La question de la valeur de la vitesse de la lumière intéressait plusieurs de ces Commissions. Il y eut une réunion commune de quatre de ces Commissions : la Commission 4 (Éphémérides) qui calcule les positions futures des planètes en fonction du temps; la Commission 14 (Données spectroscopiques fondamentales) qui a toujours travaillé en liaison étroite avec le C.C.D.M. et avec le C.I.P.M., par exemple pour préciser les conditions de production de la raie rouge du cadmium qui fut pendant longtemps l'étalon des spectroscopistes; la Commission 31 (Heure); la Commission 40 (Radioastronomie) qui s'occupe des mesures de distance en dehors du système solaire par des procédés qui utilisent des mesures de temps très précises.

Ces quatre Commissions ont été informées par A. H. Cook des travaux de la 5^e session du C.C.D.M.; les recommandations du C.C.D.M. ont été distribuées aux participants et Mr *Terrien* a donné des explications complémentaires. Ces recommandations ont été accueillies avec satisfaction par les astronomes. A. H. Cook a rédigé une résolution appuyant la Recommandation M 2 (1973) du C.C.D.M. concernant la valeur de la vitesse de la lumière; cette résolution a été adoptée à l'unanimité par les membres de ces quatre Commissions.

Le dernier jour de l'Assemblée Générale, cette résolution a été lue devant tous les participants et le texte en a été approuvé à l'unanimité dans les formes les plus solennelles. Une seule autre résolution a été adoptée avec les mêmes formes solennelles : il s'agissait de définir le sens à donner à « modified Julian Day », définition déjà assez largement utilisée depuis plusieurs années; la résolution adoptée devrait en faciliter l'emploi général.

Une autre résolution a été adoptée par les Commissions 4 (Éphémérides) et 31 (Heure) : elle invite le C.I.P.M. à proposer à la C.G.P.M. que l'on recommande l'adoption du système du TUC comme base de diffusion de l'heure normale dans tous les pays.

La Commission 31 a également voté une résolution qui traite de la façon dont on introduit la seconde intercalaire afin de maintenir dans des limites acceptables l'écart entre les signaux horaires et TU1 qui est le temps solaire moyen. Le système du TUC est le système qui régit tous les signaux horaires dans le monde, suivant des règles proposées par le C.C.I.R. qui fait partie de l'Union Internationale des Télécommunications. Le TUC, conformément aux règles du C.C.I.R., est une échelle de temps dans laquelle les intervalles de 1 s sont aussi exactement que possible égaux à la seconde du SI. Mais la rotation diurne de la Terre n'est pas régulière; elle présente des variations aléatoires imprévisibles et le TUC doit donner la position angulaire de la Terre (TU1) avec une approximation suffisante pour que les navigateurs puissent utiliser le TUC sans correction.

Lorsque la différence entre TUC et TU1 dépasse une certaine limite on ajoute ou on retranche 1 seconde à TUC. La résolution de l'U.A.I. a pour objet d'élargir cette limite afin de supprimer certaines difficultés pratiques actuellement rencontrées dans l'établissement du TUC. Pour les usagers, les conséquences seront minimes puisque, de toute façon, le TUC, diffusé par les signaux horaires hertziens, comporte un système de codage donnant l'écart entre les signaux et TU1 à 0,1 s près.

Les 32 secondes dont il est question dans la Résolution N° 2 de la Commission 4 viennent de ce que le Temps des Éphémérides TE a été mis en coincidence avec le TU en 1900, tandis que le TAI l'a été en 1958; dans l'intervalle, la décroissance de la vitesse angulaire de la Terre a introduit ce décalage de 32 s. Les astronomes utilisent maintenant pratiquement le TAI pour faire suite au TE utilisé antérieurement et préféreraient que le passage de l'une à l'autre de ces deux échelles se fasse sans discontinuité; ce décalage demandé dans le TAI ne devrait pas avoir d'inconvénient sérieux pour les utilisateurs du TAI s'il est fait dans un proche avenir.

Mr *Terrien* se demande si le C.I.P.M. doit proposer aux Gouvernements, par une résolution de la C.G.P.M., que le système TUC soit la base du temps civil légal car certains estiment nécessaire qu'il y ait un texte officiel.

Il convient par ailleurs de transmettre au Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde la proposition de décaler de 32 s la numérotation des secondes du TAI.

Mr *de Boer* expose ensuite les travaux du Comité Technique TC 12 de l'I.S.O. (Grandeurs, unités, symboles, etc.) auxquels il a participé (Washington, septembre 1973). Le TC 12 prépare en ce moment une nouvelle édition, sous forme de Normes internationales, des Recommandations R 31 qui seront entièrement révisées et remises à jour. Plusieurs de ces Normes sont déjà parues.

Le TC 12 est maintenant d'avis de supprimer dans le texte principal de ces Normes les unités qui ne font pas partie du SI, et de les mentionner seulement en annexe. Cet exemple montre le développement du SI dans le monde entier. Seules subsistent quelques difficultés avec certaines

unités, telles que le bar qui est une unité métrique mais non SI, l'unité SI étant le pascal. De même, certains pays veulent abandonner le curie et le remplacer par la seconde à la puissance moins un (s^{-1}) ou par le hertz (Hz). Cela montre qu'on propose d'utiliser aussi le hertz pour les phénomènes non périodiques. Ces questions devront être étudiées par le Comité Consultatif des Unités.

7. Exposé des travaux du B.I.P.M. et discussion sur le programme de ses activités

Les principaux membres du personnel du B.I.P.M. et quelques membres du Bureau International de l'Heure (B.I.H.) sont invités à participer à la séance où sont exposés les travaux en cours.

Mr Giacomo indique que, parmi les faits les plus marquants, il y a lieu de signaler l'établissement de liens organiques avec le B.I.H. et l'engagement récent d'un physicien qui est payé par le B.I.P.M. et travaille sous l'autorité du directeur du B.I.H.

Mr Guinot, directeur du B.I.H., présente au Comité ses collègues qui travaillent à l'établissement du TAI. Il rappelle que le TAI est établi par la méthode mise au point en 1965. Un nouvel algorithme utilisant les données de chacune des horloges prises individuellement a été mis à l'essai avec de bons résultats.

Le B.I.H. dispose maintenant d'un programme tout à fait opérationnel qui est mis à l'épreuve depuis le 1^{er} janvier 1972 grâce aux données transmises par les différents laboratoires. Ce programme va maintenant être mis en service. Le nombre d'horloges utilisées est actuellement de 50 à 60.

Le lien par Loran C n'est pas suffisant pour utiliser un certain nombre d'horloges situées en Asie du Sud-Est. Dans la transmission du temps, le système Loran-C impose des limites à la précision avec laquelle on peut travailler; il y a des fluctuations, très petites, dont on ne connaît pas l'origine.

Par ailleurs, le B.I.H. a entrepris l'étude de la stabilité à long terme et du vieillissement des horloges: leur fréquence change progressivement avec le temps et ce vieillissement peut être commun à toutes les horloges, car elles proviennent toutes du même constructeur. Le programme mis en œuvre permet d'étudier ce vieillissement qui influe sur l'exactitude du TAI. Cette influence est limitée dans la mesure où l'on introduit de temps en temps de nouvelles horloges. Les mesures absolues de fréquence faites dans certains laboratoires ne peuvent pas encore être utilisées de façon entièrement satisfaisante. On a tout lieu de penser que la seconde de TAI est trop courte de 1×10^{-12} environ, mais si l'on doit modifier sa valeur, il faut pouvoir le faire sans introduire une discontinuité.

En *interférométrie*, une partie importante de l'activité du B.I.P.M. a été en connexion avec la réunion du C.C.D.M. En préparation de cette réunion, le B.I.P.M. a fait des comparaisons entre quatre lampes à krypton

et on a repris l'étude du défaut de symétrie de la radiation étalon sans retrouver toutefois les mêmes résultats qu'en 1962. On a aussi repris la mesure de la longueur d'onde du laser asservi sur le méthane. Toutes ces mesures sont fort longues. On peut se demander si l'on doit continuer de faire des mesures sur la lampe à krypton, alors que d'ores et déjà on a la certitude que les mesures à l'aide des lasers asservis par absorption saturée donneront de meilleurs résultats.

Les mesures avec le comparateur photoélectrique et interférentiel sont poursuivies. Le C.C.D.M. a souhaité que soient entreprises des comparaisons internationales de mesures de règles divisées, comparaisons pour lesquelles le B.I.P.M. a proposé de fournir deux règles (1 m et 500 mm). Il serait souhaitable que le C.I.P.M. donne son avis sur ce travail qui prendra beaucoup de temps.

Dans l'activité de la section de *gravimétrie* il convient de signaler deux points principaux: l'enregistrement automatique des marées gravimétriques et la collaboration avec l'Observatoire de Mizusawa (Japon) et l'Institut de Métrologie G. Colonnetti de Turin. Le gravimètre absolu construit en collaboration avec ce dernier institut est d'un modèle beaucoup plus réduit que celui du B.I.P.M. Nous avons également participé à Turin à la mise en place d'un manobaromètre. A cette occasion l'expérience acquise par A. Sakuma pour la protection contre les vibrations a été très précieuse.

En *électricité*, les travaux les plus importants sont d'une part les comparaisons des étalons nationaux représentatifs de l'ohm et du volt qui ont eu lieu au début de 1973, et d'autre part la mise en œuvre de l'effet Josephson pour la conservation du volt.

Dans la section des *rayonnements ionisants*, les comparaisons internationales entre étalons d'exposition dans le domaine des rayons X de faible énergie et pour le rayonnement γ du ^{60}Co ont continué. Un fantôme de graphite, conforme aux normes définies par la Section I du C.C.E.M.R.I., a été mis en place et des déterminations ionométriques de la dose absorbée ont été effectuées. Les travaux théoriques continuent dans ce domaine.

Les mesures absolues de l'activité des radionucléides par comptage $4\pi\beta\text{-}\gamma$ continuent, ainsi que les études statistiques. Une petite comparaison d'une solution de ^{54}Mn a été organisée par le B.I.P.M. On prépare en outre le montage d'un ensemble de mesure de rayonnement γ , afin de constituer un système international d'étalons d'activité d'émetteurs γ , basé sur une chambre d'ionisation et un jeu de sources de radium.

L'activité du groupe des mesures neutroniques a été consacrée à l'étude d'un détecteur (sphère de polyéthylène renfermant un petit compteur proportionnel à BF_3) en vue d'une comparaison internationale imminente de mesures de débit de fluence de neutrons rapides monocinétiques.

Tous ces travaux sont exposés en détail dans le Rapport du directeur (p. 32).

Le *Président* félicite le personnel du B.I.P.M. pour son activité et la qualité des résultats obtenus.

A la fin de cet exposé des travaux, Mr *Terrien* commente un tableau de la répartition des tâches. Ce tableau qui a été distribué à titre de document de travail donne, sous une forme condensée, une image de l'utilisation des contributions financières que le B.I.P.M. reçoit des Gouvernements. L'une des tâches essentielles du C.I.P.M. est de diriger les travaux du B.I.P.M. sous l'égide de la Conférence Générale. En conséquence, Mr *Terrien* sollicite des membres du Comité leurs remarques, critiques et suggestions sur le programme d'ensemble.

Dix-huit pour cent de l'activité du B.I.P.M. sont consacrés aux mesures de longueur : étalonnages d'étalons à traits ou à bouts et de fils géodésiques demandés par différents laboratoires, études de lasers destinés à l'amélioration des étalons de longueur. La métrologie des masses absorbe environ 5 % de l'activité du B.I.P.M. et la gravimétrie 3 %. En thermométrie le travail sert à deux fins : couvrir les besoins propres au B.I.P.M., où la majorité des mesures comportent des déterminations de température, et répondre aux demandes d'étalonnage venant de laboratoires nationaux, principalement des pays d'importance moyenne. En électricité le B.I.P.M. effectue aussi un grand nombre d'étalonnages demandés par des pays d'importance moyenne, travail qui s'ajoute aux comparaisons internationales périodiques des étalons de résistance et de force électromotrice de dix laboratoires; la métrologie électrique représente 13 % de l'activité du B.I.P.M. En photométrie l'activité a été faible pendant l'année écoulée. Les trois sections des rayonnements ionisants sont très actives; le nombre des pays qui attachent une grande importance à l'action de coopération et de coordination du B.I.P.M. semble nettement plus grand dans ce domaine que dans les autres domaines, sans doute à cause des pays qui s'engagent dans la métrologie des rayonnements ionisants et qui n'ont encore que peu de spécialistes compétents. Les services qu'elles rendent justifient que l'on maintienne les sections des rayonnements ionisants à leur niveau actuel, qui n'a d'ailleurs pas changé depuis leur création.

Dans les relations entre le B.I.P.M. et les laboratoires des différents États on peut distinguer deux cas. Les relations du B.I.P.M. avec les grands laboratoires nationaux portent essentiellement sur les recherches pour l'amélioration des étalons; les comparaisons internationales y jouent un rôle décisif. En revanche, avec les petits pays ou les pays d'importance moyenne l'essentiel est constitué par des services rendus. Au C.I.P.M. siègent des directeurs de grands laboratoires, mais également des personnalités provenant des pays qui ont besoin du B.I.P.M. pour recevoir leurs étalons de départ. Mr *Terrien* sollicite le point de vue des uns et des autres.

Mr *Stille* demande quel est le travail prévu au B.I.P.M. en radio-

métrie. Pour le moment aucun travail n'est fait au B.I.P.M. dans ce domaine. Mr Terrien sait qu'au N.B.S. une étude a été faite sur les besoins en photométrie et en radiométrie. Au N.S.L. d'Australie d'excellents résultats ont été obtenus dans la mesure de la constante de Stefan-Boltzmann. Le moment est-il venu pour le B.I.P.M. d'entreprendre un travail expérimental — et lequel — pour renforcer la coordination entre les laboratoires actifs en radiométrie?

Mr *Maréchal*, président du C.C.P.R., indique qu'à la 7^e session (1971) de ce Comité Consultatif on a signalé l'insuffisance de certaines mesures de comparaison entre rayonnements de longueurs d'onde différentes, surtout en dehors du spectre visible. Il semble qu'il y ait en général un besoin d'améliorer la précision des mesures radiométriques. Il est possible que dans l'avenir apparaissent de nouvelles méthodes de mesure utilisant par exemple l'impulsion des photons. Toutefois, d'après les perspectives d'évolution technique on n'a pas l'impression que dans quelques années on pourra disposer de méthodes permettant de faire un grand progrès.

Le *Président* demande si le B.I.P.M. doit renforcer son travail en photométrie. De l'avis de Mr *Stille* des recherches dans ce domaine sont peut-être un peu prématurées pour le moment au B.I.P.M.

Mr *Ambler* ne saurait non plus dire quelle pourrait être l'activité internationale dans ce domaine. Il y a un besoin certain d'étalons meilleurs, ceux dont on dispose à l'heure actuelle n'étant pas satisfaisants en raison surtout de la grande variété des sources; on a en effet à caractériser aussi bien des sources à incandescence que des sources fluorescentes ou des sources solides.

Mr *Dunworth* indique qu'au N.P.L. on a réduit l'effort consacré aux recherches sur le temps et la fréquence pour le reporter sur la thermométrie. Il pense qu'ensuite l'effort devra être porté sur la photométrie et la radiométrie. Ce serait d'après lui au C.C.P.R. d'étudier la situation et de faire les recommandations nécessaires.

Mr *Terrien* répond qu'il existe en effet sept Comités Consultatifs et que chaque Comité Consultatif peut donner des renseignements et des conseils sur l'orientation de l'activité du B.I.P.M. Mais le C.I.P.M. est le seul qui puisse comparer les importances relatives des domaines des différents Comités Consultatifs. C'est une question plus difficile, mais plus fondamentale.

Pour Mr *Dunworth*, si un effort doit être fait en photométrie il serait à prendre sur les activités nucléaires. Mr *Stille* estime qu'avant de prendre une décision il faut attendre la prochaine réunion du C.C.P.R.

Mr *Siegbahn* donne quelques indications sur les travaux en cours ou en projet dans la section des rayonnements ionisants. En ce qui concerne les rayonnements α , le B.I.P.M. a acquis l'équipement dont il avait besoin. Il y a actuellement un ralentissement du travail dans ce domaine en partie à cause du départ d'un physicien et en partie parce que d'autres activités

ont eu la priorité, en particulier les travaux sur la chambre d'ionisation étalon. Par ailleurs la section travaille toujours très activement sur les problèmes de statistique.

Mr *Preston-Thomas* note que, sur le total des activités du B.I.P.M., la métrologie des rayons X et γ , des radionucléides et des neutrons représente 34 %. Peut-être est-ce une grosse proportion par rapport aux autres activités.

Mr *Siegbahn* pense que l'on pourrait réduire l'activité de la section des mesures neutroniques s'il y a vraiment déséquilibre dans ce domaine. Pour Mr *Dunworth*, s'il doit y avoir une réduction d'activité dans la section des rayonnements ionisants, cette réduction ne doit en aucun cas être brutale; elle ne peut être que progressive. Ce serait une erreur de trop réduire le travail dans ce domaine.

Mr *de Boer* pose le problème de la section de thermométrie qui n'absorbe même pas 5 % de l'activité du B.I.P.M. A son avis il y a longtemps que cette section est insuffisante. Le B.I.P.M. ne réalise qu'une partie de l'E.I.P.T., entre 0 °C et le point de congélation de l'or. Cette situation a d'ailleurs déjà été considérée par le C.C.T. et il demande à son président, Mr *Preston-Thomas*, s'il n'est pas possible d'étendre les travaux du B.I.P.M. en thermométrie, en particulier afin que celui-ci puisse faire les étalonnages au-dessous de 0 °C jusqu'au point d'ébullition de l'oxygène. Il serait nécessaire de faire des comparaisons internationales dans ce domaine.

Mr *Issaev* tient à faire quelques remarques générales sur le programme de travail du B.I.P.M. Il note avec satisfaction les progrès faits dans les domaines classiques, progrès que l'on avait du reste souhaités il y a quelques années. 1973 représente une étape, surtout en ce qui concerne les lasers asservis. Dans la section des rayonnements ionisants, il souhaite le développement des travaux concernant la dose absorbée: il espère que les comparaisons prévues pour 1974 pourront donner des résultats satisfaisants. En photométrie, il est d'accord pour que l'on demande au C.C.P.R. de faire les recommandations nécessaires pour orienter le développement du B.I.P.M. En ce qui concerne le tableau de la répartition des tâches il n'a aucune remarque à faire.

Mr *Tomonaga* estime que pour les nombreuses tâches du B.I.P.M. le nombre de personnes est trop restreint. Pour assurer les tâches de métrologie il faut employer du personnel hautement qualifié afin d'augmenter la qualité des travaux; le plus urgent est donc de chercher du personnel scientifique jeune et compétent, problème important pour la direction du B.I.P.M. En ce qui concerne la section des rayonnements ionisants le personnel actuel lui paraît suffisant.

Appartenant à un pays plus petit, Mr *Honli* tient à exprimer sa satisfaction à la suite des contacts relativement fréquents qu'il a avec

le B.I.P.M., que ce soit pour des étalonnages ou à l'occasion de comparaisons internationales. Pour son laboratoire il serait en effet intéressant que le B.I.P.M. ait davantage de possibilités en thermométrie, en photométrie et en radiométrie. Il serait favorable à une nouvelle répartition des tâches pour permettre de développer ces domaines.

Mr *Perlstein*, en tant que représentant d'un petit laboratoire de métrologie, appuie l'opinion de Mr Honti. Il souhaiterait aussi pouvoir envoyer des thermomètres, en particulier pour étalonnage aux basses températures.

Mr *Cintra do Prado*, considérant que les étalons matériels de longueur sont remplacés par des étalons atomiques, estime essentiel que le B.I.P.M. participe activement, comme les grands laboratoires nationaux, aux travaux de recherche dans ce domaine. Il serait à son avis peut-être nécessaire d'étoffer cette section, ce qui permettrait d'avoir des physiciens qui prennent part aux activités des laboratoires nationaux, aux discussions techniques et d'apporter une assistance aux pays qui n'ont pas de grand laboratoire mais s'engagent dans la construction d'étalons atomiques de longueur et de temps. Peut-être pourrait-on réduire les activités qui sont moins directement en rapport avec la métrologie dans le domaine des rayonnements ionisants. Mr *Cintra do Prado* pense qu'en gravimétrie le B.I.P.M. peut jouer un rôle de coordination pour les mesures gravimétriques; c'est une aide très importante pour la géophysique; c'est aussi une étape vers la définition d'un étalon secondaire de force.

A la fin de ce tour d'horizon détaillé, Mr *Terrien* remercie le Président d'avoir accepté cet examen général nécessaire pour préparer, en liaison avec le bureau du Comité, le programme de travail du B.I.P.M. pour la période 1977-1980 à proposer aux Gouvernements avant la 15^e Conférence Générale.

Il apparaît utile de renforcer les travaux de thermométrie et de radiométrie. Cet avis avait déjà été exprimé dans le programme de travail distribué à la précédente C.G.P.M. De nouvelles activités dans ces domaines n'ont pas été entreprises pour deux raisons. La première est une raison financière : l'inflation a empêché que l'on engage de nouveaux physiciens. La deuxième raison est que jusqu'ici la demande des petits pays pour des étalonnages aux basses températures n'avait jamais été clairement exprimée.

Au sujet des rayonnements ionisants, Mr *Terrien* rappelle qu'au début de l'activité de cette section il était justifié d'y consacrer un tiers des ressources du B.I.P.M. Les mesures comparatives et les distributions d'étalons concernant les radionucléides font intervenir un plus grand nombre de pays que les autres comparaisons. Beaucoup de pays ont un grand besoin d'une aide technique et de conseils. Ils ont également besoin des étalons que nous leur fournissons. L'action du B.I.P.M. est fort appréciée et devra être maintenue le mieux possible.

8. Visite du Dépôt des Prototypes métriques

Procès-Verbal

Le 3 octobre 1973, à 16 heures, 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 M. P. Durye avait apportée, celle enfin dont le Président du Comité International a la garde.

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

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

Température actuelle	19,5 °C
— maximale	21,5
— minimale	19,0
État hygrométrique	89 %

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

*Le Directeur
du Bureau,*

J. TERRIEN

*Pour le Conservateur en Chef
des Archives de France,*

P. DURYE
M^{me} MARCHAND, Conservateur

*Le Président
du Comité,*

J. M. OTERO

9. Composition et réunions futures des Comités Consultatifs

Mr *de Boer* demande que le Laboratoire van Swinden à La Haye devienne membre du Comité Consultatif d'Électricité, car on y fait un excellent travail de recherche.

Mr *Terrien* répond qu'il faudra un jour préciser quelles sont les conditions pour que le C.I.P.M. décide qu'un laboratoire soit membre d'un Comité Consultatif. Selon les principes qui semblent avoir été admis jusqu'à présent, les membres des Comités Consultatifs sont des laboratoires dont les recherches apportent du nouveau et qui contribuent au progrès. D'un autre côté beaucoup de laboratoires voudraient essentiellement avoir accès à cette source d'information. Doit-on admettre des observateurs ou doit-on limiter le nombre des membres pour être sûr que les discussions soient efficaces?

Mr *de Boer* fait remarquer que le C.C.E. comprend actuellement 13 membres, alors qu'il y a 43 États membres de la Convention du Mètre. Il faut avoir la possibilité d'honorer le niveau scientifique d'un laboratoire.

Pour conclure, le *Président* estime qu'il convient de consulter le président du C.C.E., Mr Lehany.

Réunions futures des Comités Consultatifs

Électricité. — Le président du C.C.E. a fait savoir qu'il souhaitait que ce Comité Consultatif se réunisse en mai 1975.

Photométrie et Radiométrie. — Il est d'usage que le C.C.P.R. se réunisse à une date voisine de l'Assemblée Générale de la Commission Internationale de l'Éclairage; celle-ci aura lieu en septembre 1975. MM. *Dunworth* et *Ambler* ne sont pas d'accord pour convoquer le C.C.P.R. à cette date qui se situerait en effet après la 15^e C.G.P.M. Or, les discussions précédentes ont montré qu'il convenait que le C.C.P.R. se réunisse pour définir un programme de travail. Mr *Dunworth* propose que l'on écrive aux laboratoires pour leur demander leur avis sur la date de la future session et sur son ordre du jour. Mr *Terrien* pense que l'on pourrait proposer aux laboratoires que la réunion se tienne en juin 1974 *.

Thermométrie. — Le C.C.T. est déjà convoqué pour le 14 mai 1974.

Définition de la Seconde. — Il serait souhaitable que le C.C.D.S. se réunisse à une date voisine de la « Conference on Precision Electromagnetic Measurements » qui doit se tenir du 1^{er} au 5 juillet 1974. La date du 9 juillet 1974 est retenue pour la prochaine session du C.C.D.S.

Unités. — La date du 18 septembre 1974 est retenue pour la prochaine session du C.C.U.

Définition du Mètre. — Le C.C.D.M. vient de tenir sa 5^e session en juin 1973. Aucune réunion n'est prévue en 1974.

Rayonnements ionisants. — Les quatre Sections du C.C.E.M.R.I. se sont réunies en 1972. Elles devraient se réunir à nouveau à la fin de 1974 ou en 1975.

10. Questions administratives

Traitements du personnel. — Mr *Terrien* rappelle que les traitements sont calculés d'après une grille établie en points-or. Les renseignements obtenus de diverses sources concordent pour donner un accroissement annuel des rémunérations de 9 % par an, cela par extrapolation des variations observées pendant les 2,5 dernières années. Au B.I.P.M., si on laisse la grille inchangée on peut prévoir que l'application de l'indice des prix augmentera les traitements de 7 %, toujours d'après l'extrapolation basée sur les 2,5 dernières années. Si l'on veut se maintenir au niveau des augmentations pratiquées en France, il faut donc relever l'ensemble de la grille de 2 %.

Le Comité approuve la proposition du directeur, pour application au 1^{er} janvier 1974.

Règlement du personnel. — Cette question avait été examinée très rapidement lors d'une réunion du bureau du Comité en juin 1973. Compte tenu d'une étude du C.E.R.N. (1^{er} juillet 1973) sur le même sujet, Mr *Terrien* pense qu'il convient d'examiner de plus près les demandes du personnel et de s'inspirer des règlements du C.E.R.N.

* Note ajoutée aux épreuves. — Après consultation des laboratoires, la prochaine session du C.C.P.R. est prévue pour septembre 1975.

Mr *Dunworth* souhaiterait que l'on se base surtout sur ce qui est fait dans la fonction publique en France, plutôt que dans les autres pays.

Le *Président* laisse à MM. Terrien et de Boer le soin de poursuivre l'étude de cette question.

Pensions de retraites. — Le personnel a demandé si les pensions de retraites peuvent être majorées : les pensions suivent la variation de l'indice des prix, mais elles n'ont pas été majorées dans le même rapport que les traitements des personnes en activité. Il y a eu en effet des relèvements de la grille des salaires au cours des dernières années, entraînant un décalage de 20 à 28 % entre l'évolution des traitements d'activité et celle des pensions. Dans le cas des fonctionnaires français ce relèvement est en usage. La situation des retraités du B.I.P.M. est défavorable sur ce point par rapport à celle des fonctionnaires français.

Pour Mr *de Boer* cette question présente un double aspect : doit-on d'une part augmenter les pensions actuelles, d'autre part les pensions doivent-elles suivre systématiquement non seulement l'indice du coût de la vie, mais aussi l'élévation du niveau de vie. A son avis, il conviendrait de faire faire une étude par un actuaire avant que le Comité puisse prendre une décision sur ce deuxième point.

Mr *Issaev* demande si l'on sait comment ce problème est réglé dans les organismes internationaux, tels que l'O.N.U., l'A.I.E.A. Mr *de Boer* répond qu'au C.E.R.N. les pensions de retraites sont majorées tous les cinq ans, après examen de la situation par un comité.

Mr *Perlstain* signale une étude sur les organisations internationales dont le siège est en Suisse, d'après laquelle le C.E.R.N. a un statut privilégié ; si on le prend comme modèle on sera à la pointe de ce qui se fait dans le domaine.

Le Comité donne finalement son accord à une majoration des pensions de retraites, tenant compte des modifications passées de la grille des traitements, mais ne veut pas s'engager pour l'avenir.

Caisse de prêts. — Mr *Giacomo* présente la question des prêts au personnel, notamment pour l'achat d'un logement, question qui avait déjà été abordée à la session de 1972 du Comité. Après une étude de ce que pourrait faire le B.I.P.M. compte tenu de ses finances, la solution mixte suivante est proposée au Comité : 1° le B.I.P.M. pourrait accorder à son personnel des prêts relativement modestes, jusqu'à 10 000 francs français, sans intérêt ; 2° le B.I.P.M. pourrait donner sa caution pour des prêts avec intérêts, sans hypothèque, accordés par une banque. Il faut noter qu'il existe actuellement en France dans le secteur privé une contribution obligatoire des employeurs (1 % des salaires) à un fonds destiné à la construction de logements ; il est toutefois impossible au B.I.P.M. de faire quelque chose de comparable.

Mr *Terrien* précise que dans le cas des petits prêts sans intérêt accordés par le B.I.P.M. le risque est très limité. Dans le cas de prêts bancaires cautionnés par le B.I.P.M. le risque est plus grand du fait de l'absence d'hypothèque et du plus grand nombre possible d'emprunteurs. Les remboursements de ces prêts seraient prélevés par le B.I.P.M. sur les traitements ; il est donc nécessaire qu'en cas de défaillance de l'emprunteur le risque encouru par le B.I.P.M. soit limité. Des garanties sont déjà imposées : une assurance sur la vie est obligatoire et les demandes de prêts doivent être approuvées par une commission ; il faudrait toutefois une garantie supplémentaire pour le cas où l'emprunteur déciderait de quitter le B.I.P.M.

Mr *Dunworth* estime que les prêts du B.I.P.M. ne devraient être que très exceptionnels et de faible importance. Mr *Perlstain* considère que ces prêts devraient être soumis à un intérêt raisonnable afin d'éviter des abus incontrôlables.

Sur proposition de Mr *Terrien*, l'ensemble du Comité donne son accord pour le premier type de prêts, d'un montant individuel compris entre 3 000 et 10 000 francs français ; ces prêts seront prélevés sur un fonds de roulement constitué par 1 % du budget annuel du B.I.P.M. La question de l'intérêt sera examinée par le directeur avec le personnel.

Pour le second type de prêts contractés auprès d'une banque mais avec la caution du B.I.P.M., le Comité se déclare d'accord sur le principe ; il demande toutefois que l'on étudie et que l'on soumette à son approbation des modalités d'application qui limitent la somme totale du risque financier, et qui apportent quelque garantie sur la permanence de l'emprunteur.

Bâtiments. — Le glissement de terrain observé à l'extrémité nord du Grand Pavillon, quoique ralenti, se poursuit néanmoins. Il y a déjà eu dans les cinquante dernières

années deux interventions, aussi conviendrait-il de faire faire une étude par un ingénieur pour trouver un remède. Il est à craindre cependant que les travaux soient assez coûteux.

Il serait par ailleurs nécessaire de moderniser les toilettes proches de la Salle de conférences, les installations actuelles étant insuffisantes lors des réunions internationales.

Exercice 1972. — Après avoir pris connaissance du rapport de l'expert-comptable pour l'exercice 1972, le Comité constate que les comptes ont été régulièrement tenus et donne quitus au directeur et à l'administrateur pour l'année 1972.

On doit signaler que la République Démocratique Allemande a informé le B.I.P.M. qu'elle réglerait ses cotisations lorsque son nom figurerait dans la liste des pays membres de la Convention du Mètre.

Budget du B.I.P.M. pour 1974. — Mr Terrien fait remarquer que dans le budget de 1972 les recettes ont été plus élevées que prévu; il y avait un excédent de recettes de 200 000 francs-or. En 1973 il y aura au contraire un déficit de 300 000 francs-or. La marge d'incertitude sur les recettes atteint donc 500 000 francs-or, soit 1/6 du budget, ce qui impose une grande prudence dans l'engagement des dépenses.

Mr de Boer préférerait verser une somme plus grande dans la Caisse de retraites dont l'actif est très insuffisant. Il y a une différence énorme entre notre Caisse et celle du C.E.R.N. Au B.I.P.M., le nombre de retraités par rapport au nombre des personnes actives est actuellement de 15 %, alors qu'au C.E.R.N. il est de 2 %. Il serait donc sage d'augmenter la participation du budget général à la Caisse de retraites et Mr de Boer propose de diminuer le chiffre prévu pour l'entretien des bâtiments et de verser la différence à la Caisse de retraites.

Compte tenu de cette modification, le Comité approuve pour 1974 le budget suivant.

Budget pour 1974

RÉCETTES

	francs-or
Contributions des États	3 778 000
Intérêts des fonds	20 000
Taxes de vérification	6 000
Remboursements des taxes sur les achats	120 000
Total	<u>3 924 000</u>

DÉPENSES

A. Dépenses de personnel.

1. Traitements	1 610 000	} 2 026 000
2. Allocations familiales	95 000	
3. Sécurité sociale	105 000	
4. Assurance-accidents	16 000	
5. Caisse de Retraites	200 000	

B. Dépenses de fonctionnement.

1. Bâtiments (entretien)	161 000	} 930 000
2. Mobilier	5 000	
3. Laboratoires et ateliers	500 000	
4. Chauffage, eau, énergie électrique	105 000	
5. Assurances	4 500	
6. Impressions et publications	53 000	
7. Frais de bureau	48 000	
8. Voyages	40 000	
9. Bureau du Comité	13 500	

C. *Dépenses d'investissement.*

1. Laboratoires	525 000	} 620 000
2. Atelier de mécanique	30 000	
3. Atelier d'électronique	33 000	
4. Bibliothèque	32 000	
D. <i>Frais divers et imprévus</i>		188 000
E. <i>Utilisation de monnaies non convertibles</i>		160 000
Total		<u>3 924 000</u>

11. **Questions diverses**

Masse volumique de l'eau. — Le B.I.P.M. a fait ces dernières années quelques mesures relatives : on a déterminé les différences de masse volumique entre des échantillons d'eau de composition isotopique différente, principalement dans les limites correspondant aux eaux naturelles, mais aussi sur des échantillons enrichis en ^{18}O et en D. Toutes ces mesures sont rapportées à des déterminations absolues faites au siècle dernier sur une eau de composition inconnue ; cela revient à admettre que l'eau « ordinaire » est aujourd'hui la même qu'il y a un siècle.

Il est relativement facile, maintenant, de déterminer la composition isotopique, mais on n'a toujours pas de nouvelle détermination absolue de la masse volumique d'une eau de composition connue. L'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée (Munich, 1973) et particulièrement sa Commission des données physicochimiques attachent une grande importance à une telle détermination.

Aux sessions précédentes du C.I.P.M., on a déjà demandé si certains laboratoires nationaux pourraient entreprendre cette détermination.

En Australie, les travaux ont commencé au N.S.L. ; la masse volumique et la dilatation de l'eau seront déterminées par l'étude de la poussée hydrostatique sur une sphère de silice dont on mesurera le diamètre.

Au N.B.S., des études sont en cours pour déterminer la masse volumique d'échantillons monocristallins de silicium. Il est prévu que le N.B.S. envoie de tels échantillons au B.I.P.M., qui dispose d'un bon équipement pour faire des pesées hydrostatiques et en déduire la masse volumique de l'eau.

Mr *Stille* est d'accord pour entreprendre une détermination à la P.T.B., mais dans un délai inconnu faute d'un accroissement satisfaisant du personnel.

Membres de la Convention du Mètre. — Mr *Stulla-Götz* attire l'attention sur le petit nombre des États membres. L'Agence Internationale de l'Énergie Atomique, par exemple, réunit 105 États membres alors que cet organisme est de création relativement récente. Notre organisation a cent ans et nous n'avons que 43 États membres. Ne serait-il pas nécessaire

de faire quelque chose pour accroître le nombre des membres de la Convention du Mètre?

Le *Président* répond en soulignant que nos travaux sont surtout intéressants pour un certain nombre de pays dont le niveau scientifique est déjà élevé. Pour les autres pays nos travaux ne présentent pas autant d'intérêt. En particulier nos discussions n'intéressent pas directement les pays qui sont en voie de développement.

Recrutement. — Mr Dunworth demande s'il est en ce moment difficile de recruter du personnel. Mr *Terrien* répond qu'il est en effet difficile d'attirer de jeunes physiciens de haute valeur. Les principaux physiciens qui travaillent au B.I.P.M. prennent de l'âge et on aurait besoin de physiciens de 30 à 35 ans.

Le *Président* note que si le B.I.P.M. a pu être considéré naguère comme une sorte de « machine à mesurer », le niveau scientifique des travaux a depuis lors complètement changé. On fait maintenant au B.I.P.M. des travaux qui devraient attirer des physiciens de haute qualification.

Prochaines sessions du C.I.P.M. — En 1974, le C.I.P.M. se réunira pendant quatre jours à partir du 24 septembre; son ordre du jour comprendra notamment la préparation de la 15^e Conférence Générale convoquée pour fin mai 1975. Le bureau du Comité devra établir le programme de travail du B.I.P.M. pour 1977-1980 avant juin 1974.

En 1975, le C.I.P.M. se réunira en même temps que la 15^e Conférence Générale, c'est-à-dire huit mois après sa session précédente; Mr *Terrien* suggère en conséquence de ne pas présenter à la session de 1975 un « rapport du directeur » pour cette période réduite. Le rapport présenté à la session d'automne 1976 couvrirait donc deux ans de travaux.

* * *

Au moment de clore la session, le *Président* remercie ses collègues pour leur participation active aux travaux et il félicite Mr *Terrien* pour l'excellente préparation de cette session.

RAPPORT DU DIRECTEUR

SUR L'ACTIVITÉ ET LA GESTION DU BUREAU INTERNATIONAL

(1^{er} octobre 1972 — 1^{er} octobre 1973)

I. — PERSONNEL

Remarques générales

Le recrutement de jeunes physiciens ayant les qualités désirées reste difficile, et les salaires, aussi bien en France que dans d'autres pays, continuent à croître plus que prévu au programme budgétaire.

L'effectif se maintient à environ 50 personnes. Les membres du personnel exécutent cependant tous les travaux qui sont demandés au B.I.P.M. grâce à leur grande activité, aux progrès dans leur compétence acquise par leurs études ou leurs visites dans de grands laboratoires nationaux grâce aussi à l'aide de ces laboratoires auxquels nous devons adresser de sincères remerciements.

Les crédits budgétaires permettent l'achat d'instruments qui épargnent le temps passé. L'utilisation systématique de l'ordinateur contribue grandement aussi à laisser au personnel la majeure partie de son temps disponible pour l'exécution des mesures et des expériences.

V. D. HUYNH a été nommé adjoint avec le grade de physicien principal.

D. ROTROU, précédemment agent d'entretien, a été promu mécanicien.

Engagements

Dominique REYMANN, né en 1946, titulaire d'un doctorat de spécialité en spectrométrie, a été engagé comme assistant le 1^{er} février 1973.

Jacques AZOUBIB, né en 1943, titulaire d'un diplôme d'études approfondies en physique du solide, a été engagé comme assistant le 1^{er} septembre 1973; il a été mis à la disposition du Bureau International de l'Heure (B.I.H.) à Paris en application de la Résolution 2 de la 14^e Conférence Générale des Poids et Mesures, autorisant une collaboration entre le C.I.P.M. et le B.I.H.

Départ

D. GORMAN, de nationalité canadienne, qui avait été engagé comme physicien le 1^{er} février 1971, a quitté son emploi sur sa demande le 30 juin 1973. Durant son séjour au B.I.P.M. il a obtenu des résultats de haute qualité pour la mesure absolue des énergies α .

II. — BÂTIMENTS

Observatoire

Les salles 9 et 10 (thermométrie) ont été rénovées. Les anciennes canalisations de gaz et d'eau non potable ont été enlevées; dans la salle 10, le lanterneau a été supprimé et le plafond a été réparé. Dans ces deux salles, on a refait l'installation électrique, repeint les murs et les plafonds, et on a installé un système de climatisation.

La salle 13 (chimie) a été repeinte.

La mise en service de la tension 380/220 V en remplacement de la tension 220/110 V se poursuit (Rapport 1969, p. 33). Actuellement, il reste à transformer les installations électriques dans trois salles.

Le ravalement des murs a été commencé. La première partie, effectuée d'avril à juillet 1973, a porté sur la façade du bâtiment; on a employé le procédé adopté précédemment pour le Grand Pavillon et décrit dans le Rapport de 1970. Auparavant, d'importantes réparations au plâtre avaient été effectuées sur cette façade. Sur la partie haute de la cheminée d'évacuation des gaz de combustion de la chaufferie, on a remplacé le revêtement en plâtre usé par un revêtement en ciment.

Bâtiment principal du laboratoire des rayonnements ionisants

L'ancienne soute à charbon, d'une superficie de 37 m², devenue sans emploi depuis l'adaptation de la chaufferie au gaz urbain, a été affectée à l'usage d'annexe de l'atelier de mécanique. A cet effet, les cloisons intérieures ont été enlevées, le sol a été recouvert d'une chape en béton pour en égaliser le niveau, et la baie d'entrée a été élargie jusqu'à 1,70 m; les murs et le plafond ont été peints.

Grand Pavillon

Les quatre bureaux au premier étage ont été repeints.

Dépendances.

Au bâtiment de la menuiserie, le revêtement en plâtre du mur extérieur au sud, qui était en très mauvais état, a été remplacé par un revêtement au ciment lissé d'une couche teintée en jaune.

III. — INSTRUMENTS ET TRAVAUX

Remarques générales

L'uniformité mondiale des mesures, à un niveau de précision de plus en plus élevé, exige du B.I.P.M. une activité qui se manifeste par des certifications d'étalons pour divers pays, des comparaisons internationales d'étalons nationaux, le maintien des bases de référence internationales des unités SI, l'accueil de stagiaires ou de visiteurs, et cela dans toutes les sections de nos laboratoires. Cette activité se développe et s'accroît, en

quantité à cause des nouveaux pays qui désirent développer leur métrologie nationale, en qualité à cause du niveau croissant de précision exigé par l'industrie. Pour faire face à ces tâches, il a fallu, et il faudra encore, améliorer le rendement et l'efficacité du personnel et des instruments de mesure.

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

Longueurs (P. Carré)

Étalons à traits

Cinq étalons à traits ont été étudiés soit au comparateur photoélectrique et interférentiel, soit au comparateur universel :

— Règle N° 504 de 0,7 m en acier au chrome, manganèse et vanadium (Société Hauser, Bienne) : équation de l'intervalle principal, étalonnage des décimètres, des centimètres, des millimètres du premier et du dernier centimètre et du centimètre 340-350.

— Règle N° 333 de 1 m en invar (Laboratoire National d'Essais, Paris) : équation de l'intervalle principal, étalonnage des décimètres, des centimètres et des millimètres du premier et du dernier centimètre.

— Règles N°s 4794 et 4795 de 1 m en acier à 42 % de nickel (Polski Komitet Normalizacji i Miar, Varsovie) : équation de l'intervalle principal.

— Règle de 1 m en invar (Survey of India) : équation.

Étalons à bouts (J. Hamon)

Études courantes

Dix calibres ont été étudiés soit au comparateur photoélectrique et interférentiel, soit à l'interféromètre Tsugami :

— Calibres en acier de 5, 15, 25, 50, 75, 100 mm et 1 m (Bureau Fédéral des Poids et Mesures, Wabern, Suisse).

— Calibres en acier de 1,005, 30 et 100 mm (National Physical Research Laboratory, Pretoria).

Étalons spéciaux pour la mesure de l'accélération due à la pesanteur

La détermination du coefficient de dilatation linéique des étalons en silice fondue N° 3 et N° 4 a été effectuée entre 17 et 23 °C environ. On a calculé la meilleure droite passant par les points expérimentaux et trouvé ainsi le coefficient à 20 °C :

$$\begin{aligned} \text{Étalon N° 3} \quad \alpha_{20} &= (+ 0,408 \pm 0,004) \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \\ \text{Étalon N° 4} \quad \alpha_{20} &= (+ 0,437 \pm 0,005) \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \end{aligned}$$

Cependant, si l'on porte sur un graphique (*fig. 1*) les écarts résiduels, on obtient un cycle d'hystérésis dont il est difficile d'expliquer le sens.

Nous avons obtenu un résultat à peu près analogue avec l'étalon N° 2 (Rapport 1968, p. 37).

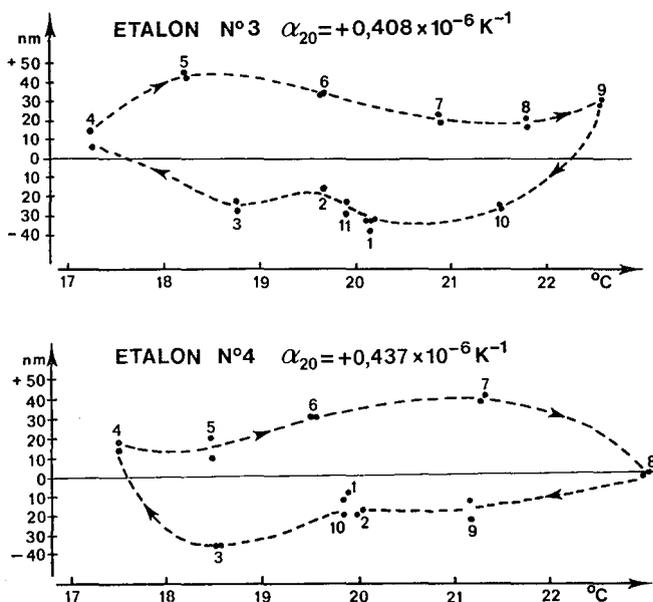


Fig. 1. — Dilatation des étalons en silice fondue N°s 3 et 4 destinés à la mesure de g . Écartés résiduels par rapport à la droite moyenne. Les nombres indiquent l'ordre chronologique des mesures.

Base géodésique (G. Girard)

Mesure interférentielle de la règle I 5 de 4 m

La 53^e équation de cette règle en invar a été déterminée sur l'intervalle (8-16) m de la base géodésique. Le résultat obtenu est :

$$I\ 5 = 4\ \text{m} + 49,4\ \mu\text{m à } 0\ \text{°C (août 1973)}.$$

La précédente équation avait donné :

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

L'évolution de la longueur de cette règle est tout à fait régulière.

Fils géodésiques

L'activité a été très réduite dans ce domaine; seuls deux fils de 24 m et trois de 35 m ont été mesurés.

Invar géodésique

La demande de fil en invar géodésique est toujours très importante, ce qui nous a conduits à effectuer l'étuvage de plus de 250 kg d'alliage constituant les livraisons 28 et 29. Quatorze déterminations de coefficients de dilatation ont été nécessaires au cours de ces traitements thermiques.

Interférométrie (J. Hamon, J.-M. Chartier)

Étude de la reproductibilité de la longueur d'onde de la radiation étalon primaire

On a comparé entre elles quatre lampes à ^{86}Kr du type Engelhard, fabriquées à la P.T.B. (capillaire de diamètre intérieur 2 mm et de longueur 70 mm). Les lampes ont été observées uniquement côté anode. L'optique de conjugaison avec l'interféromètre de Michelson était légèrement différente pour chaque lampe; les deux diaphragmes principaux de l'interféromètre (diaphragme isolateur de diamètre 0,6 mm au foyer de l'objectif de sortie de distance focale 600 mm et diaphragme de diamètre 25 mm limitant l'ouverture des miroirs) étaient à peu près dans des plans conjugués des deux extrémités du capillaire; pour deux des lampes seulement on utilisait une lentille cylindrique compensant l'astigmatisme dû au cryostat. L'interféromètre, sous vide, était utilisé à une différence de marche de ± 375 mm.

Les quatre lampes étant maintenues à la température du point triple de l'azote et traversées par un courant de 10,4 mA (densité de courant $J = 0,33$ A/cm²), on a trouvé pour la radiation étalon la même longueur d'onde à mieux que $\pm 1 \times 10^{-9}$ près (fig. 2a).

L'extrapolation à l'atome isolé et au repos n'a pas été refaite (aucune mesure côté cathode). On a cependant vérifié l'influence de la température

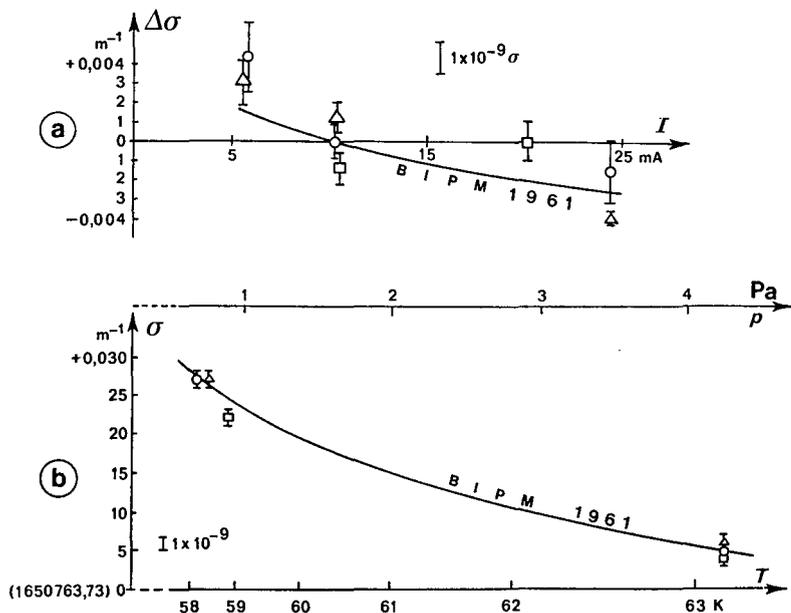


Fig. 2. — Reproductibilité de la longueur d'onde de la radiation étalon primaire émise par plusieurs lampes à ^{86}Kr du type Engelhard.

Référence : Lampe N° 74886, maintenue à la température du point triple de l'azote et parcourue par un courant de 10,4 mA; ○ : lampe N° 75286; △ : lampe N° 51386; □ : lampe N° 44186.

- a. Influence du courant sur le nombre d'ondes : $\Delta\sigma = \sigma(I) - \sigma(10,4 \text{ mA})$.
- b. Influence de la température sur le nombre d'ondes.

et du courant. Les valeurs obtenues (*fig. 2 a* et *2 b*) confirment, à $\pm 1 \times 10^{-9}$ près, les valeurs admises au B.I.P.M. ⁽¹⁾.

En résumé, la longueur d'onde émise par des lampes du même type, dans les conditions recommandées, semble reproductible à $\pm 1 \times 10^{-9}$ près. Lorsque le courant et la température s'écartent peu des conditions recommandées, les corrections usuelles semblent assurer une reproductibilité de ± 1 à 2×10^{-9} .

Dissymétrie du profil spectral de la radiation étalon primaire de longueur

La légère dissymétrie du profil spectral de la radiation du krypton 86, étudiée en particulier au B.I.P.M. en 1962, a fait l'objet de deux nouvelles études.

a) Étude théorique de l'influence de la dissymétrie sur les mesures effectuées avec des interféromètres différents et à des différences de marche variées. — En utilisant la représentation du profil par un doublet (très dissymétrique) non résolu, on a établi une méthode relativement simple permettant de déterminer la variation apparente de la longueur d'onde de la radiation étalon primaire, dans un interféromètre quelconque, en fonction de la différence de marche. Les principales conclusions sont les suivantes :

— à faible différence de marche, la longueur d'onde apparente correspond à celle du centre de gravité du profil ;

— à différence de marche croissante, la longueur d'onde apparente décroît, suivant une loi que l'on peut déduire du profil des franges fournies par l'interféromètre ;

— dans les conditions usuelles pour les mesures les plus précises (différences de marche d'environ 0,1 à 0,4 m pour l'interféromètre de Perot-Fabry et 0,4 m pour l'interféromètre de Michelson), la longueur d'onde apparente est intermédiaire entre celle du centre de gravité du profil et celle de son sommet.

Cette étude a fait l'objet de deux rapports internes (BIPM-73/2 et 73/3) et d'un document de travail présenté à la 5^e session du C.C.D.M. (Annexe M 16).

b) Étude expérimentale : mesures comparatives de la longueur d'onde de la radiation étalon primaire à celle d'un laser à He-Ne ($\lambda = 633$ nm) asservi sur la composante g de l'iode 127, au moyen de l'interféromètre de Michelson sous vide. — Quatre mesures ont été faites à chacune des différences de marche 125 et 250 mm, six mesures à chacune des différences de marche 375, 650 et 800 mm et sept mesures à la différence de marche 500 mm.

La lampe à krypton était utilisée dans les conditions recommandées, sauf pour les mesures aux deux plus grandes différences de marche au cours desquelles elle était maintenue à 58 K.

En prenant comme référence la longueur d'onde de la composante g : $\lambda = 632\,991\,231,0$ fm, déduite de la valeur recommandée par le C.C.D.M.

(1) Comité Consultatif pour la Définition du Mètre, 3^e session, 1962, pp. 78-82.

pour la longueur d'onde de la composante i de l'iode 127 : $\lambda = 632\,991\,399$ fm (Recommandation M 1 (1973)), on peut obtenir, pour chaque différence de marche, la valeur du nombre d'ondes apparent σ de la radiation étalon. Après correction des effets de température et de courant (environ $-0,005\,0\text{ m}^{-1}$ à 63 K et $-0,025\,0\text{ m}^{-1}$ à 58 K), on obtient pour chaque différence de marche les valeurs moyennes suivantes avec leur écart-type :

Différence de marche D (en m)	Nombre d'ondes σ (en m^{-1})	Écart-type (en m^{-1})	Écart-type relatif
0,125	1 650 763,726 0	0,0030	18×10^{-10}
0,250	727 5	07	4
0,375	728 8	08	5
0,500	728 0	07	4
0,650	726 6	20	12
0,800	730 2	26	16

Pour comparer ces résultats avec ceux qui ont été obtenus en 1962 ⁽²⁾, il est commode de calculer $\varepsilon_D = p_D - p'_D$, où p_D est l'ordre d'interférence observé à la différence de marche D , et p'_D l'ordre d'interférence à cette même différence de marche calculé d'après le nombre d'ondes obtenu à la différence de marche choisie comme référence (ici 500 mm comme dans l'étude de 1962).

On obtient ainsi les valeurs suivantes avec leur écart-type :

D (en m)	ε_D	Écart-type
0,125	— 0,000 2	0,000 4
0,250	— 1	2
0,375	+ 3	4
0,500	0,000 0	0
0,650	— 9	1 4
0,800	+ 1 8	2 2

On peut conclure que, dans la limite d'incertitude des mesures, le nombre d'ondes de la radiation étalon est constant pour toutes les différences de marche étudiées, donc que son profil est symétrique. Cela est en contradiction avec les résultats obtenus en 1962 pourtant confirmés par d'autres auteurs, tout au moins quant à l'existence et au sens de la dissymétrie.

La figure 3 permet de comparer nos nouveaux résultats avec ceux de 1962.

Laser à He-Ne ($\lambda = 3,39\ \mu\text{m}$) asservi sur une raie d'absorption saturée du méthane

Seize nouvelles mesures de la longueur d'onde ont été faites à la différence de marche de ± 375 mm; la longueur d'onde de référence était celle

⁽²⁾ ROWLEY (W. R. C.) et HAMON (J.), *Rev. Opt.*, **42**, 1963, pp. 519-531.

de la radiation étalon primaire, la lampe à krypton étant maintenue à 63,15 K et traversée par un courant de densité $J = 0,33 \text{ A/cm}^2$. Le résultat moyen est :

$$\lambda = 3\,392\,231\,399 \text{ fm.}$$

L'écart-type de la moyenne est 4 fm; l'incertitude due à la réalisation du mètre est par ailleurs évaluée à 13 fm.

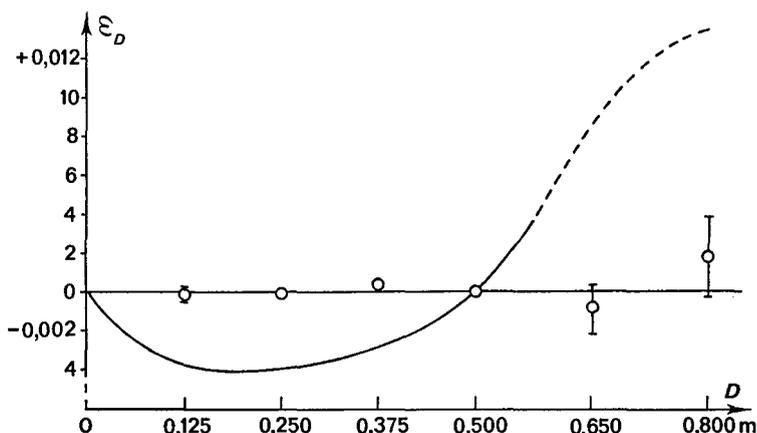


Fig. 3. — Étude du défaut de symétrie de la radiation étalon primaire.

La courbe représente les résultats obtenus en 1962; les cercles représentent les résultats de 1973.

ϵ_D , Ordre d'interférence observé — Ordre d'interférence calculé;
 D , Différence de marche.

En 1970-71 nous avons obtenu pour ce même laser :

$$\lambda = 3\,392\,231\,376 \text{ fm,}$$

avec les mêmes termes d'incertitude (Rapport 1971, pp. 33-35).

La différence entre ces deux résultats dépasse ce qu'on pourrait attendre de la reproductibilité dans chaque groupe de mesures. Malgré nos recherches, aucune erreur systématique susceptible d'expliquer cet écart n'a pu être décelée.

Lasers à He-Ne ($\lambda = 633 \text{ nm}$) asservis sur une raie d'absorption saturée de l'iode

Le travail poursuivi depuis deux ans (Rapports 1971 p. 36 et 1972 p. 38) commence à porter ses fruits. Nous disposons depuis quelques mois de deux lasers asservis sur l'iode 127, construits au B.I.P.M., dont les caractéristiques sont encourageantes. Plusieurs autres sont en construction pour être utilisés aux mesures de longueur.

Construction. — Nous nous sommes largement inspirés des conseils et de l'expérience du N.P.L., du N.B.S. et du N.R.C., que nous remercions à cette occasion. Les modèles actuellement réalisés ne prétendent donc pas à l'originalité. La cuve à absorption, de longueur 10 cm, est placée dans la cavité laser de 40 cm de longueur; les tubes à He-Ne, de longueur 26,5 cm,

sont d'un type commercial (C.W. Radiations, modèle CW 301); les miroirs sont l'un plan, l'autre sphérique (rayon de courbure 50 cm ou 1 m).

La pression de l'iode est réglable par la méthode du point froid. On a soigné particulièrement le dégazage de la cuve (150 h sous vide à 300 °C) et la dessiccation de l'iode : celui-ci est conservé en permanence sous vide en présence de P_2O_5 , et sublimé à travers une colonne de P_2O_5 .

Lorsqu'on fait varier la longueur l de la cavité, l'intensité lumineuse I émise présente plusieurs pics correspondant à la saturation de l'absorption pour les différentes composantes de structure hyperfine de l'iode 127 (fig. 4 a). Ces pics ont une amplitude trop faible pour permettre un asservissement exact à l'aide de la dérivée première dI/dl (fig. 4 b); on utilise donc pour l'asservissement la dérivée troisième d^3I/dl^3 (fig. 4 c) qui élimine

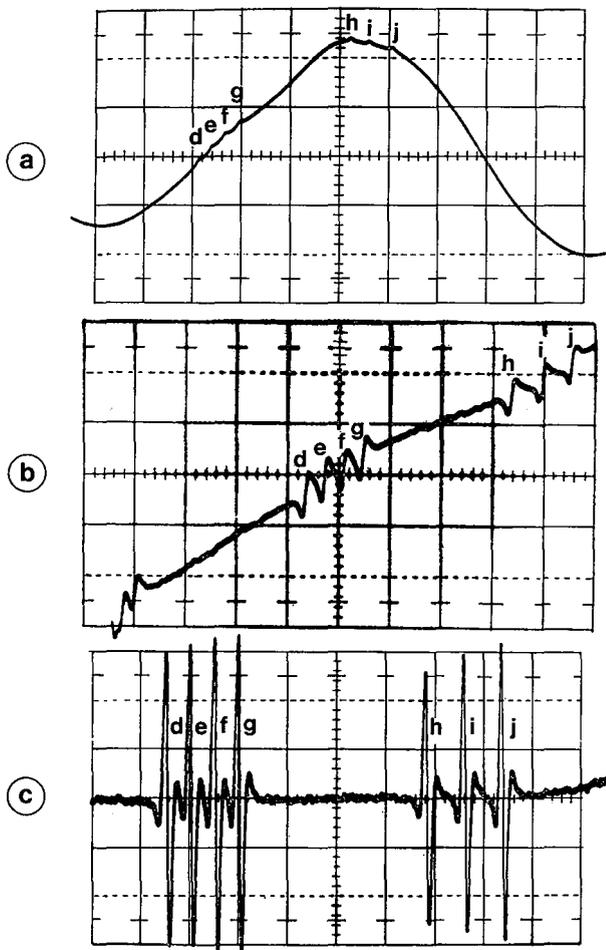


Fig. 4. — Absorption saturée de l'iode 127.

- a. Intensité lumineuse émise par le laser en fonction de la longueur de la cavité.
- b. Dérivée première.
- c. Dérivée troisième.

pratiquement l'influence du fond. Cette méthode, maintenant classique, utilise une modulation de I à la fréquence f_0 et la détection synchrone de la composante de fréquence $3f_0$ dans la modulation de I . Elle exige l'absence de composante à la fréquence $3f_0$ dans la modulation de I , et l'absence de composantes aux fréquences f_0 et $2f_0$ dans la tension de référence (à $3f_0$) utilisée pour la détection synchrone (fig. 5). Un filtrage très soigné est indispensable; des progrès sur ce point sont sans doute possibles.

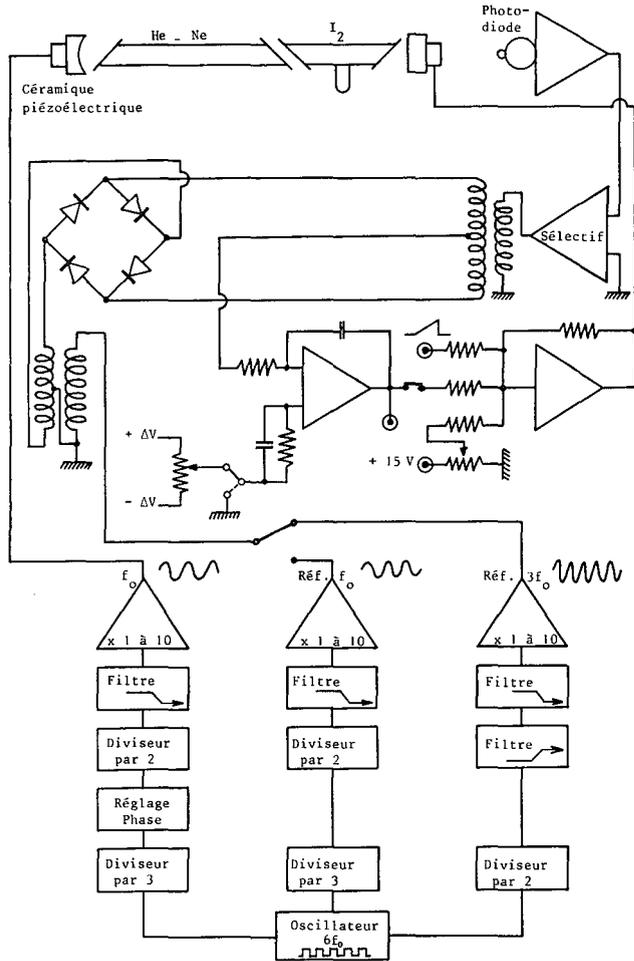


Fig. 5. — Schéma de l'appareillage utilisé pour l'asservissement du laser à He-Ne sur la dérivée troisième (référence $3f_0$) ou éventuellement sur la dérivée première (référence f_0) (voir figure 4).

Mesures de longueurs d'onde; battements entre lasers. — Nous avons pu faire des mesures sur les lasers de notre construction depuis le début de 1973. En avril, J. A. Wallard* a apporté au B.I.P.M. deux lasers construits au

N.P.L. et il a participé aux mesures de longueurs d'onde et aux comparaisons de fréquence. La mesure des fréquences de battements entre deux lasers permet un contrôle rapide et précis de l'identité de leur fréquence. On a toujours trouvé des fréquences de battements inférieures à 200 kHz pour deux lasers asservis sur la même composante hyperfine; leurs longueurs d'onde diffèrent donc de moins de 4×10^{-10} et sont indiscernables par nos procédés interférentiels habituels. Leur stabilité relative est de l'ordre de 6×10^{-11} sur 10 s (variance d'Allan). Nous avons mesuré avec l'interféromètre de Michelson les différences de longueurs d'onde entre les différentes composantes de $^{127}\text{I}_2$; les intervalles de fréquence que l'on déduit de ces mesures sont en excellent accord avec les mesures des fréquences de battements, plus précises, effectuées au N.R.C. et au N.P.L. (tableau I);

TABLEAU I

*Différences de longueur d'onde et de fréquence
des composantes de $^{127}\text{I}_2$ par rapport à la composante g*

Composante	BIPM		Δf mesuré (NRC, NPL)
	$\Delta\lambda$ mesuré	Δf calculé	
d	— 52,4 fm	+ 39,21 MHz	+ 39,400 MHz
e	— 35,8	+ 26,79	+ 26,536
f	— 17,7	+ 13,24	+ 13,176
h	+ 137,8	— 103,11	— 103,755
i	+ 167,2	— 125,10	— 125,684
j	+ 196,8	— 147,25	— 147,262

elles confirment la précision de nos mesures interférentielles: les écarts-types des mesures de longueurs d'onde n'atteignent pas 1×10^{-9} et les intervalles de fréquence que l'on en déduit sont corrects à mieux que ± 400 kHz près.

Des mesures de longueur d'onde par rapport à celle de la radiation étalon (krypton 86) ont été effectuées sur un laser B.I.P.M. (composantes g et d) et sur l'un des lasers N.P.L. (composante d). En utilisant les valeurs connues des différences de fréquence on peut, sans erreur appréciable, ramener toutes ces mesures à la composante i, le résultat moyen est :

$$\lambda(^{127}\text{I}_2, i) = 632\,991\,399,4 \text{ fm.}$$

La précision relative des comparaisons de longueur d'onde $\text{I}_2 - \text{Kr}$ est meilleure que pour $\text{CH}_4 - \text{Kr}$: les écarts-types sont trois à quatre fois plus faibles (0,3 fm ou 5×10^{-10} sur la moyenne de 16 séries); les conditions expérimentales étant très voisines pour l'iode et le krypton, on peut estimer que l'incertitude sur les erreurs systématiques n'atteint pas 1×10^{-9} . Le terme principal de l'incertitude sur λ provient vraisemblablement de la réalisation de la radiation étalon (1 à 2×10^{-9}). On a estimé l'incertitude résultante à 2×10^{-9} , donc

$$\lambda(^{127}\text{I}_2, i) = 632\,991\,399,4 \pm 1,2 \text{ fm.}$$

Toutes ces mesures ont été effectuées avec l'interféromètre de Michelson à ± 375 mm de différence de marche. Des mesures à ± 800 mm de différence de marche avec ce même interféromètre et avec l'interféromètre utilisé pour la mesure de g ont donné respectivement :

$$\lambda(^{127}\text{I}_2, g) = \begin{cases} 632\,991\,230,5 \pm 0,9 \text{ fm} \\ 632\,991\,231,1 \pm 0,6 \text{ fm}, \end{cases}$$

en bon accord avec les mesures précédentes de la composante i qui conduiraient à

$$\lambda(^{127}\text{I}_2, g) = 632\,991\,231,4 \text{ fm}.$$

Ce dernier résultat confirme l'absence d'effet imputable à une éventuelle dissymétrie du profil spectral de la radiation étalon émise par la lampe à krypton (voir p. 35).

Lasers à He-Ne asservis sur le « Lamb-dip »

De nouvelles mesures de longueur d'onde ont été faites sur deux de nos trois lasers Spectra-Physics 119. La figure 6 montre une évolution des longueurs d'onde d'environ $+1 \times 10^{-8}$ par an, variation qui semble s'accélérer un peu avec l'âge du tube.

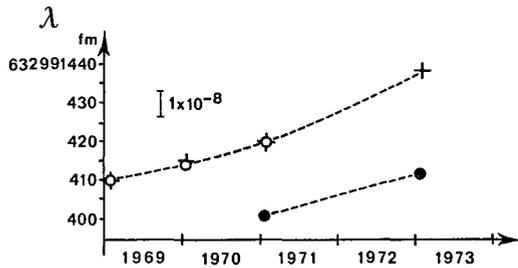


Fig. 6. — Évolution de la longueur d'onde de trois lasers à He-Ne Spectra-Physics 119.

Étude sommaire du profil spectral de raies du mercure

Pour les besoins de l'expérience sur la mesure absolue de g , nous avons fait, au moyen du monochromateur, une étude sommaire du profil spectral des raies 546 nm (verte) et 436 nm (indigo) du mercure émises par des lampes à très haute pression Osram HBO 50 W et 100 W. Ces raies sont, évidemment, fortement auto-absorbées, le pic d'absorption étant centré sur la vraie raie d'émission et les profils, dissymétriques, sont déplacés vers le rouge. Pour autant qu'on puisse définir la hauteur d'un tel profil, on a trouvé comme « largeur à mi-hauteur » :

Raies	Lampes Osram HBO	
	50 W	100 W
546 nm	1,8 nm	3,9 nm
436	2,1	5,5

La figure 7 *a* montre pour la lampe de 100 W l'allure du profil de la raie 546 nm; la figure 7 *b* donne la courbe de visibilité calculée de cette raie en fonction de la différence de marche.

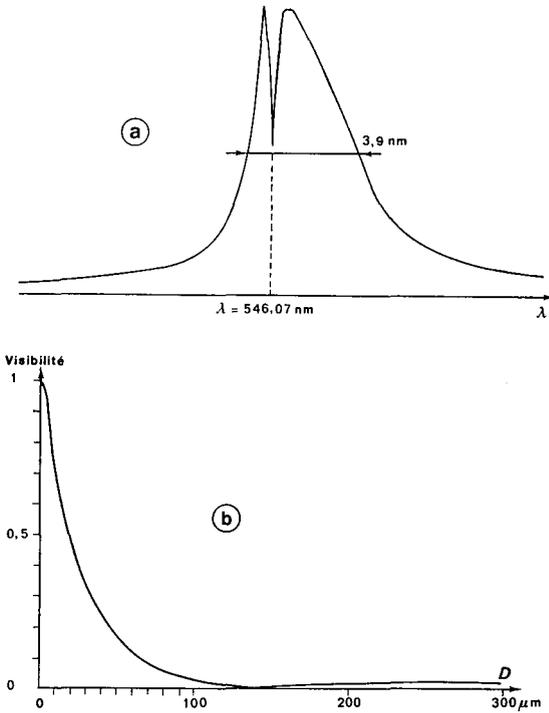


Fig. 7. — Raie 546 nm d'une lampe à mercure à très haute pression Osram HBO 100 W.

a. Profil spectral.

b. Visibilité (calculée) des interférences en fonction de la différence de marche D .

Masses (G. Girard)

Régulation de la température de la salle des balances (salle 105)

A la suite d'une étude systématique, au cours de l'hiver 1972-1973, de la température en divers points de cette salle (partie de la salle où se trouve l'observateur, cabine, intérieur de la balance Rueprecht N° 1 (1 kg), parois côtés salles 104, 106 et couloir de ronde inférieur), il a été noté que la température peu élevée (inférieure à $15 \text{ }^\circ\text{C}$) qui règne dans le couloir de ronde inférieur perturbait le bon équilibre de la température dans la salle. Un chauffage électrique provisoire a été installé dans la partie correspondante de ce couloir de ronde et la différence de température entre la cabine et le reste de la salle 105, qui était d'environ $0,5 \text{ K}$, a été pratiquement annulée.

Un ruban chauffant fonctionnant à basse température remplace l'observateur en dehors des périodes de pesée et un éclairage juste nécessaire reste allumé constamment.

Il en résulte une bonne stabilité thermique, de l'ordre du millikelvin, à l'intérieur des balances situées dans la cabine. La reproductibilité des positions d'équilibre de la balance Rueprecht N° 1, par exemple, a été améliorée d'un facteur 2 environ.

Balance NBS-2

Après l'installation définitive de cette balance dans la cabine de la salle 105, on a effectué un certain nombre de pesées pour vérifier ses qualités qui se sont avérées très satisfaisantes puisque la moyenne des valeurs obtenues pour les écarts-types d'une comparaison simple de deux Kilogrammes est très voisine de 3 μ g.

Afin d'améliorer encore la stabilité thermique mentionnée plus haut, une enceinte isolante à parois alternées de polystyrène expansé et d'aluminium a été disposée autour de la balance. On obtient ainsi à l'intérieur de la balance une température stable à quelques dix-millièmes de kelvin. La manipulation du transporteur de la balance provoque toutefois un accroissement régulier de la température d'environ 0,01 K pendant la durée d'une pesée (3 h).

En 1973, la balance NBS-2 a été utilisée, pour la première fois, pour déterminer la masse de Kilogrammes en platine iridié et de Kilogrammes en acier inoxydable. Nous avons procédé de la manière suivante : six Kilogrammes (désignés ici par les numéros 1 à 6) étaient disposés sur le transporteur de la balance et les différentes comparaisons ont été effectuées selon le schéma suivant :

Série	Nos					
1	1	2	3	4		
2	1	2	3		5	
3	1	2	3			6
4	1	2		4	5	
5	1	2		4		6
6	1	2			5	6

Dans chaque série, les quatre Kilogrammes sont comparés deux à deux dans toutes les combinaisons possibles; le N° 1 est pris comme Kilogramme étalon et le N° 2 comme Kilogramme de contrôle. Avec cette balance, chaque comparaison de deux Kilogrammes, 1 et 2 par exemple, est effectuée par l'intermédiaire du contrepois qui est de préférence constitué du même matériau que les Kilogrammes à comparer. On calcule, d'après les élongations maximales lues sur l'échelle, les positions d'équilibre du fléau sous les différentes charges suivantes :

- a) Kilogramme 1
- b) Kilogramme 2
- c) Kilogramme 2 + surcharge
- d) Kilogramme 1 + surcharge
- e) Kilogramme 1

La surcharge est un petit cavalier de masse connue qui sert à déterminer la valeur, en masse, d'une division de l'échelle de lecture.

Kilogrammes prototypes

En mars-avril 1973, les Kilogrammes prototypes N° 37 (Belgique), N° 50 (Canada) et le Kilogramme C (B.I.P.M.), ainsi que les prototypes d'usage courant N° 9 et N° 31 (B.I.P.M.) que nous devions redéterminer (*voir* Rapport 1972, p. 43), ont été comparés à l'aide de la balance NBS-2 au Kilogramme d'usage exceptionnel N° 25 (B.I.P.M.) suivant le schéma décrit plus haut.

Il résulte de ces comparaisons que l'écart-type sur la valeur de la masse de chacun des cinq Kilogrammes déterminés est de 1,5 µg environ, sans tenir compte de l'écart-type sur le Kilogramme N° 25.

D'après les mesures qui ont permis de déterminer la masse du Kilogramme N° 25 en remontant jusqu'à la comparaison de 1946 entre le Kilogramme international et ses témoins, on trouve que l'écart-type sur le Kilogramme N° 25 est de 8 µg environ.

On en déduit que les pesées récentes n'ajoutent qu'une erreur négligeable, donc que les masses des Kilogrammes récemment comparés à l'aide de la balance NBS-2 sont pratiquement données avec le même écart-type que la masse du Kilogramme N° 25, soit 8 µg.

Le tableau II donne les résultats de ces dernières comparaisons ainsi que quelques valeurs antérieures.

TABLEAU II
*Résultats des déterminations de la masse
de cinq Kilogrammes prototypes
(excès en µg sur la valeur nominale)*

Kilogramme N°	1948	1951	1961	1965	1968	1973
9 (B.I.P.M.)				+ 278	+ 286*	+ 290*
31 (B.I.P.M.)				+ 92	+ 108*	+ 122*
C (B.I.P.M.)				+ 192		+ 209*
37 (Belgique)	+ 251					+ 226
50 (Canada)		— 130	— 152			— 134

*Valeurs obtenues sans que les Kilogrammes aient été nettoyés.

Les N° 37 et N° 50 ont été nettoyés au benzène et à l'alcool purs puis lavés à l'aide d'un jet de vapeur d'eau bidistillée avant les comparaisons, ce qui a eu pour conséquence de diminuer leur masse de 0,08 mg et 0,06 mg respectivement.

Bien que la précision des pesées effectuées antérieurement soit inférieure à celle des pesées actuelles, on note une augmentation de 0,01 à 0,03 mg sur les trois Kilogrammes du B.I.P.M. par suite de la pollution de leur surface. Ce phénomène n'est pas nouveau (*voir* Rapport 1965, p. 39).

A partir des nouvelles valeurs de nos deux étalons d'usage courant, il a été possible d'attribuer une valeur au Prototype N° 53 des Pays-Bas dont l'étude avait été effectuée en mai 1972 avec la balance Rueprecht N° 1.

	1953	1972
N° 53 (Pays-Bas)	1 kg + 0,085 mg	1 kg + 0,098 mg

Trois cylindres en platine iridié ont été achetés à Johnson Matthey (Londres) en vue de préparer trois Kilogrammes. L'un d'eux est déjà réservé pour l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti (Turin), un autre remplacera le Kilogramme N° 31 du B.I.P.M. dont la surface est très rayée et le dernier sera conservé en réserve.

La masse volumique de ces trois cylindres a été déterminée par des pesées hydrostatiques effectuées au voisinage de 21 °C. L'eau du robinet du B.I.P.M., soumise à une bidistillation, a été utilisée comme étalon pour lequel on a admis :

- masse volumique à 4 °C : 999,972 kg.m⁻³
- dilatation thermique : celle qui est donnée par la table de Chappuis.

Les résultats suivants ont été obtenus :

		Masse volumique à 0 °C
Cylindre	{	JM 10 21 546,64 kg.m ⁻³
	{	JM 11 21 537,82
	{	JM 12 21 546,68

Études courantes

— Détermination de la masse, à la balance Rueprecht N° 1, par comparaison à nos deux prototypes d'usage N°s 9 et 31 :

du cylindre (≈ 1 kg) en acier inoxydable « Nicral D » qui est utilisé dans nos études sur la masse volumique de l'eau ;

du Kilogramme N° 70 en « Nicral D » (Pakistan).

— Détermination à la balance NBS-2, par comparaison aux deux masses précédentes en « Nicral D » et suivant le schéma indiqué plus haut, de quatre Kilogrammes également en « Nicral D » : N° 71 (Iran), N° 33 (Yougoslavie), N2 et N3 (B.I.P.M.). L'écart-type sur la valeur de la masse de chacun des quatre Kilogrammes, calculé d'après les résultats de cette comparaison, est de 1,6 µg ; cet écart-type est porté à 13 µg si l'on tient compte de l'écart-type sur la masse du cylindre et du Kilogramme N° 70 qui ont été pris comme référence.

— Fin de l'étalonnage de la série de masses de 10 kg à 1 mg en acier inoxydable « Immaculate V » et en aluminium (Irlande).

— Pour les besoins de la Section des rayonnements ionisants du B.I.P.M. : six disques en graphite de 2 à 4 kg environ, un anneau en acier inoxydable de 10 mg, quelques masses de notre série en nickel N° 5.

Comparaison internationale de masses de 20, 50 et 100 mg

Dans le Rapport de 1972, p. 43 et p. 67, sont exposés l'objet de cette comparaison entre trois laboratoires et son déroulement. La concordance des résultats est tout à fait satisfaisante : pour toutes les masses, sauf une, les valeurs obtenues diffèrent entre elles de 2 µg au maximum (tableau III).

La variation de la masse de 100 mg du jeu N° 1 entre B.C.M.N. (1) et B.I.P.M. (aller) est restée inexpliquée.

Le rapport complet de cette comparaison est publié dans *C.C.E.M.R.I.*, Section II, 2^e Réunion, 1972, Annexe R(II) 4.

TABLEAU III

Résultats de la comparaison internationale de masses de 20, 50 et 100 mg
(excès en μg sur la valeur nominale)

Jeu N°	Masse nominale (mg)	B.C.M.N. (1)	B.I.P.M. (aller)	P.T.B. (aller)	B.C.M.N. (2)	B.I.P.M. (retour)	P.T.B. (retour)	B.C.M.N. (3)
1	20	— 71	— 71	— 71	— 70	— 71	— 71	— 71
	50	— 551	— 550	— 552	— 551	— 550	— 551	— 552
	100	— 293	— 299	— 300	— 300	— 299	— 299	— 301
2	20	— 180	— 180	— 180	— 180	— 180	— 180	— 180
	50	— 534	— 533	— 535	— 535	— 533	— 534	— 535
	100	— 299	— 298	— 298	— 297	— 297	— 297	— 298

B.C.M.N. : Bureau Central de Mesures Nucléaires d'Euratom, Geel, Belgique.

P.T.B. : Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Allemagne (Rép. Féd. d').

B.I.P.M. : Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres, France.

Masse volumique de l'eau

L'étude de l'influence de la composition isotopique de l'eau sur sa masse volumique, qui avait été interrompue à cause des travaux effectués dans la salle des balances, a été reprise en utilisant trois échantillons d'eau :

a) eau du Groenland qui avait déjà servi à cette étude en 1969 et qui a été de nouveau distillée;

b) eau du robinet bidistillée;

c) eau de la Méditerranée enrichie en isotopes lourds par évaporation, puis distillée.

Un premier groupe de mesures a été fait à 22 °C en novembre-décembre 1972 et un autre en mai 1973 à une température voisine de 4 °C.

Les résultats de l'analyse isotopique des échantillons d'eau ont permis de constater que la correction d'isotopie à appliquer aux résultats des pesées hydrostatiques faites à 22 °C était plus voisine de la correction calculée à partir de la formule théorique que de celle calculée à partir de la formule expérimentale ⁽³⁾.

Les résultats des analyses isotopiques des échantillons des eaux utilisées à 4 °C ne sont pas encore connus.

Gravimétrie (A. Sakuma)

Marées gravimétriques

Nous avons déjà signalé la nécessité de la mesure des marées gravimétriques au B.I.P.M. en vue de la vérification de l'exactitude du fonctionnement de notre appareil de mesure absolue de g et aussi pour mettre en évidence d'éventuels écarts, dus aux facteurs météorologiques, entre les marées réelles et les prévisions théoriques (Rapport 1971, p. 40).

Dans ce but, un gravimètre à ressort destiné à l'enregistrement permanent des marées gravimétriques est en cours de réalisation. Un puits étanche de 2 m de profondeur a été aménagé pour son installation au sous-sol de la salle 6 afin d'assurer une excellente stabilité thermique et d'éviter les influences sur l'appareil des variations de la pression atmosphérique.

La partie essentielle de cet appareil est un ancien gravimètre du type Western G4A (fabrication antérieure à 1956), destiné initialement aux prospections gravimétriques avec une sensibilité de l'ordre de $10^{-7} g$ et cédé au B.I.P.M. par un laboratoire de géophysique. Nous avons transformé ce gravimètre pour qu'il puisse enregistrer des variations de g avec une résolution meilleure que 10^{-9} . Ainsi, l'observation future des marées gravimétriques au B.I.P.M. permettra pour la première fois d'établir une liaison directe entre deux sortes de gravimètres de hautes performances : l'un absolu, l'autre relatif. Les avantages de cette combinaison sont réciproques : l'appareil absolu permet d'évaluer la sensibilité et les dérives instrumentales à long terme de l'autre; l'appareil relatif peut fournir de façon continue des corrections de marées gravimétriques nécessaires à l'appareil absolu; si les dérives de g décelées par les deux appareils présentent les mêmes tendances, on pourra conclure avec une forte probabilité à l'existence dans les marées gravimétriques de bruits provoqués par des effets extérieurs.

⁽³⁾ GIRARD (G.), MENACHÉ (M.), *Metrologia*, 7, 1971, p. 83.

La figure 8 montre schématiquement les parties principales de ce gravimètre. Une masse en or de 60 g, fixée à l'extrémité d'un fléau horizontal, mobile dans un plan vertical, est maintenue en équilibre par la traction

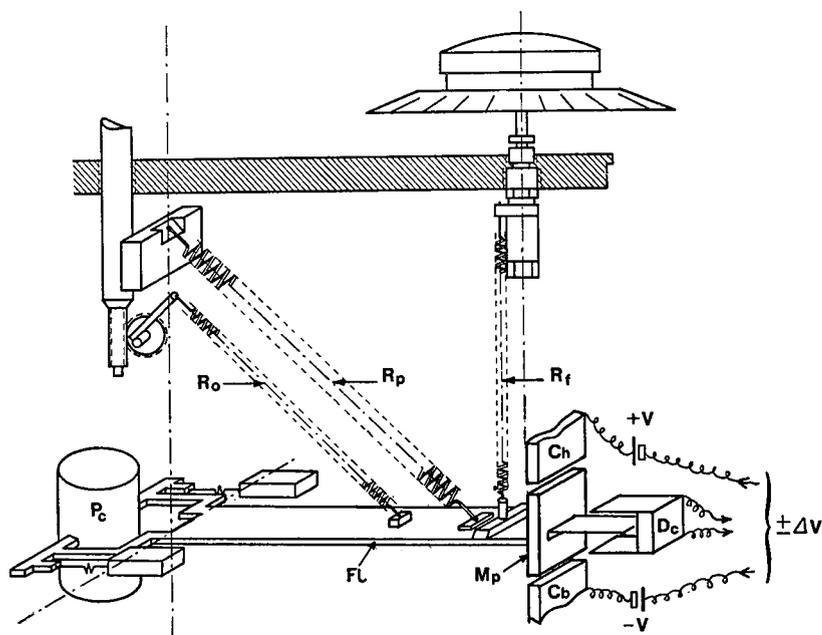


Fig. 8. — Schéma de l'équipage mobile du gravimètre à ressort asservi électrostatiquement par une méthode de zéro et destiné à l'enregistrement des marées gravimétriques au B.I.P.M.

Rp, Ressort principal; Rf, Ressort d'équilibrage fin (commandé par une vis micro-métrique); Ro, Ressort auxiliaire d'équilibrage (ces trois ressorts sont en élinvar de coefficient thermoélastique $\approx 7 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$); Mp, Masse principale en or (60 g) du fléau mobile FL (période ≈ 18 s, allongement du ressort vertical équivalent: 80 m); Dc, Détecteur capacitif de la position de Mp (sensibilité ≈ 1 nm); Ch, Cb, Compensateurs capacitifs de la position de Mp (capacité de chacun par rapport à Mp ≈ 1 pF); + V, - V, Sources de tension de polarisation des compensateurs (champ électrique produit ≈ 30 V/mm); $\pm \Delta V$, Sortie de l'amplificateur d'asservissement (max. ± 2 V, ce qui correspond à une force électrostatique agissant sur Mp de $\pm 1 \times 10^{-7}$ N, équivalente à une variation relative de g de $\pm 1,7 \times 10^{-7}$); Pc, Compensateur de la variation de poussée de l'air.

de trois ressorts en élinvar (coefficient thermoélastique $\approx 7 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$) avec une période d'oscillation libre de 18 s environ. Un détecteur différentiel et ses amplificateurs d'asservissement permettent de maintenir le fléau en position fixe en appliquant une tension de correction de valeur maximale 2 V environ, proportionnelle à la variation de g , sur une paire de compensateurs capacitifs de 1 pF environ, déjà polarisés par un champ uniforme de 30 V/mm environ. Grâce à la construction symétrique du détecteur et du compensateur, les forces parasites dues aux champs électriques se compensent et ne modifient pas de façon décelable l'oscillation libre du fléau; la linéarité de l'asservissement reste meilleure que 1 % dans

un domaine de marée gravimétrique de $\pm 1,6 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$ ($\pm 160 \mu\text{Gal}$). Ce dispositif est contenu dans une enceinte étanche, à température régulée, constituée de sept parois métalliques isolées thermiquement et blindées magnétiquement (constante de temps thermique $> 100 \text{ h}$). Une table anti-vibratoire qui supporte cette enceinte permet de diminuer sensiblement le bruit dû aux mouvements du sol, bruit qui se superpose aux signaux des marées. L'élimination du bruit permet d'abaisser le temps de réponse du gravimètre jusqu'à une dizaine de secondes en supprimant certains filtres électroniques. Grâce à ce temps de réponse 5 à 10 fois plus court que pour les autres gravimètres existants, on pourra étudier l'existence éventuelle de mouvements du sol de très longue période ($> 40 \text{ s}$) que nous avons jusqu'à présent des difficultés à mesurer.

Des essais préliminaires de fonctionnement de ce gravimètre ont montré que la dérive de la force de traction des ressorts reste très faible ($< 3 \times 10^{-7}$ par mois), ce qui peut être expliqué par l'ancienneté du gravimètre ($> 17 \text{ ans}$) et par son fonctionnement à une température relativement basse ($18 \text{ }^\circ\text{C}$) par rapport à la température de fonctionnement des autres appareils existants ($40 \text{ à } 50 \text{ }^\circ\text{C}$).

Station gravimétrique de Mizusawa

Notre collaboration se poursuit avec l'International Latitude Observatory, Mizusawa, Japon, en vue de la création d'une nouvelle station gravimétrique analogue à celle du B.I.P.M. Comme première étape de ce projet à longue échéance (5 ans peut-être), un laboratoire indépendant de 330 m^2 , éloigné de 50 m de tous les autres bâtiments, est en cours de construction selon nos indications dans le domaine de l'Observatoire de Mizusawa. Simultanément avec cette construction et à la demande de cet Observatoire, deux étalons de longueur de 0,8 m environ en silice fondue ont été réalisés, à titre exceptionnel, par nos soins et Mr T. Suzuki, interférométriste du même Observatoire, a fait un stage de dix mois au B.I.P.M. (août 1972-juin 1973) pour se familiariser avec nos techniques.

L'appareil de mesure de g de cette station future sera une reproduction de notre prototype et il pourra bénéficier des perfectionnements que nous étudions sur ce dernier. Ainsi, une expérience de détermination de la longueur d'onde d'un laser stabilisé par absorption saturée par l'iode (*voir Interférométrie*) a montré que l'emploi d'un tel laser à la place de la lampe à krypton 86 simplifierait appréciablement l'installation actuelle de mesure de g et faciliterait la détermination de la longueur de l'étalon de référence en nous dispensant de la mesure absolue de sa température.

Collaboration avec divers organismes extérieurs

Depuis la mise en pratique de nos études sur la compensation des mouvements du sol, nous avons reçu plusieurs demandes de renseignements et d'assistance technique. Les deux sujets suivants ont particulièrement retenu notre attention :

— étude de l'isolement, par rapport aux vibrations importantes du sol, d'un manobaromètre interférentiel installé à l'Institut de Métrologie de Turin (*voir Manobaromètre interférentiel*, p. 55);

— étalonnage d'un accéléromètre capacitif de haute sensibilité ($10^{-8} g$) de l'Office National d'Études et de Recherches Aérospatiales (France), destiné à un satellite artificiel.

Ces études ont été effectuées de façon satisfaisante grâce aux installations du B.I.P.M.

Gravimètre absolu transportable

Le gravimètre absolu de l'Institut de Métrologie de Turin, à la réalisation duquel nous collaborons depuis cinq ans, a donné son premier résultat à Turin en janvier 1973 avec la valeur provisoire $9,805\ 33\ \text{m/s}^2$. Afin de vérifier son fonctionnement en un lieu où la valeur de g est bien connue, ce gravimètre a été transporté à la mi-juin 1973 au B.I.P.M. où il a été essayé par G. Cerutti* et L. Cannizzo*. La valeur moyenne de g obtenue avec cet appareil au B.I.P.M. (sur un pilier de la salle 6) est $9,809\ 257\ \text{m/s}^2$ (fin juin 1973), en bon accord avec les résultats de nos propres déterminations; l'écart-type d'une mesure est d'environ $2 \times 10^{-6}\ \text{m/s}^2$ (0,2 mGal), les chronographes fonctionnant actuellement avec une résolution de $0,02\ \mu\text{s}$ seulement. On espère que la précision de ce gravimètre pourra encore être améliorée.

Cet appareil portatif est une version miniaturisée de notre prototype fixe; il utilise le même principe de la chute libre symétrique: montée et descente d'un trièdre optique (70 g). Toutefois, les trois modifications suivantes apportent des avantages pour le transport:

— la distance parcourue par le trièdre lancé est mesurée par comptage et décomptage de franges d'interférence d'un laser stabilisé;

— le point de référence non perturbé est constitué par le sommet du trièdre terminal du bras horizontal de l'interféromètre de Michelson de mesure: il est fixé au fléau d'un sismomètre vertical de longue période ($\approx 20\ \text{s}$) installé lui-même sur un bâti anti-vibratoire de telle façon que l'effet des vibrations soit compensé automatiquement;

— la mesure de g est faite dans un vide modeste de l'ordre de $0,1\ \text{Pa}$ ($\approx 1\ \mu\text{mHg}$); des expériences antérieures (voir Rapport 1970, p. 49) ont en effet montré que, grâce aux propriétés remarquables de la chute symétrique, la mesure de g reste correcte malgré le freinage par l'air résiduel.

L'appareil principal est composé de deux parties séparables: l'interféromètre ($\approx 40\ \text{kg}$) et la catapulte sous vide ($\approx 60\ \text{kg}$); son encombrement en état de marche est de $0,6\ \text{m} \times 0,4\ \text{m} \times 1,5\ \text{m}$; une équipe de deux personnes pourra établir une base gravimétrique absolue en une semaine au maximum.

Ainsi, dans un proche avenir, la base gravimétrique de Turin deviendra une première base absolue étroitement reliée à « Sèvres Point A » et la différence des valeurs de g entre ces deux bases pourra être utilisée comme une des meilleures échelles pour l'étalonnage des gravimètres à ressort. Les demandes pour un emploi futur de ce gravimètre sont déjà nombreuses, soit pour la révision des réseaux gravimétriques ou l'établissement de nouvelles bases absolues, soit pour des études géophysiques. De plus, certains laboratoires nous ont manifesté leur désir d'acquérir des appareils

analogues. Dans ces conditions, nous avons effectué quelques sondages en vue d'une fabrication commerciale de tels appareils.

Thermométrie (J. Bonhoure)

Échelle Internationale Pratique de Température

Le B.I.P.M. dispose, depuis plusieurs années déjà, du matériel nécessaire pour réaliser l'E.I.P.T. dans tout le domaine de températures compris entre 0 °C et 1 064 °C. Les installations et techniques de mesure viennent cependant d'être améliorées sur les points suivants :

— La technique de refroidissement des points triples de l'eau a été modifiée. On obtient maintenant le manchon de glace autour du puits en y introduisant, non plus des fragments de neige carbonique dont il était toujours difficile de maîtriser les effets, mais une tige de cuivre préalablement refroidie dans l'azote liquide; trois opérations successives donnent un manchon de glace parfaitement régulier en un temps réduit.

— Le point d'ébullition de l'eau a été remplacé par le point de congélation de l'étain. L'étain très pur étant sujet à une importante surfusion, on a essayé deux techniques différentes de germination, soit en sortant complètement le creuset du four, soit en injectant de l'argon dans le puits du creuset; bien que cette deuxième technique ne permette pas de suivre l'évolution de la température en permanence et en particulier au moment critique, on l'a préférée à la première parce qu'elle est moins brutale, et surtout parce qu'elle offre l'avantage de faire débiter la congélation autour du puits du creuset, donc au plus près du thermomètre.

— On a entrepris la réalisation du point de congélation de l'antimoine, pour pouvoir étalonner les thermocouples platine/platine rhodié aussi près que possible de 630,74 °C; on a l'intention de réaliser en même temps le point de congélation de l'aluminium de très grande pureté (99,9999 %) qui paraît être un bon point fixe de référence. Les creusets de graphite nécessaires sont construits.

Pour répondre à des demandes formulées par plusieurs laboratoires d'étalonnage de thermomètres à résistance de platine au-dessous de 0 °C, on étudie actuellement quel est l'équipement que le B.I.P.M. doit acquérir; on a le choix entre le point d'ébullition de l'oxygène, point fixe de définition de l'E.I.P.T., et le point triple de l'argon (dont la température est plus basse de 6 K) que le Comité Consultatif de Thermométrie (1971) a envisagé de substituer au premier. On recherche si, en pratique, il est possible de réaliser un cryostat, élément essentiel de l'installation, qui convienne à la fois pour ces deux points fixes.

Température thermodynamique du point de congélation de l'or

On a poursuivi l'étude en cours qui consiste à déterminer, par pyrométrie optique monochromatique au voisinage de 1 μm , l'écart entre la température thermodynamique et l'E.I.P.T.-1968 pour le point de congélation de l'or; on prend pour référence la température 630,74 °C que l'on suppose connue exactement et on admet pour c_3 la valeur 0,014 388 m·K. Conformément à ce qui est indiqué dans le Rapport de 1972, p. 50, on a étendu l'étude à deux autres températures: 900 °C et

1 010 °C; mais on a aussi procédé à des contrôles sur la qualité des cavités rayonnantes (influence de l'ouverture) et sur la transmission résiduelle parasite des filtres interférentiels (au-delà du pic de transmission).

Résultats des mesures pyrométriques. — En utilisant la terminologie définie dans le Rapport de 1971, p. 41, on a d'abord effectué des mesures de type C (sans température intermédiaire) en novembre et décembre 1972, puis des mesures de type A (trois températures intermédiaires : 900, 960 et 1 010 °C) en janvier et février 1973; dans les deux cas, les températures des cavités rayonnantes CN 1 et CN 2 étaient indiquées respectivement par les thermocouples platine/platine rhodié PtRh 1 et PtRh 2, et on a systématiquement utilisé les six filtres interférentiels disponibles dont on rappelle que les longueurs d'onde des pics de transmission s'échelonnent de 0,94 à 1,02 μm . On a contrôlé l'étalonnage des thermocouples avant et après les mesures pyrométriques, ce qui a permis de corriger les résultats pour tenir compte d'une brusque mais faible variation des thermocouples survenue lors des toutes dernières séries de mesures pyrométriques.

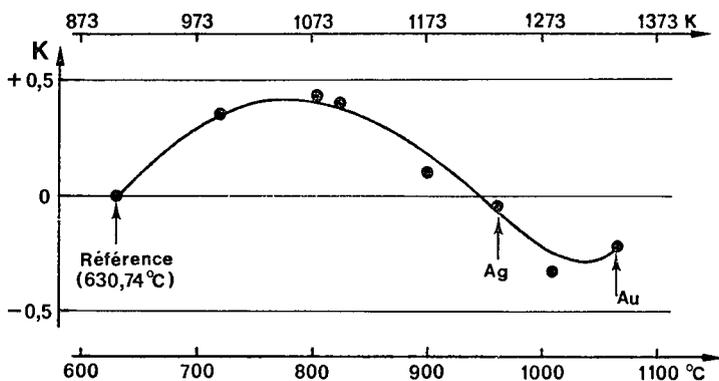
Les nouveaux résultats obtenus pour les points de congélation de l'argent et de l'or confirment ceux de nos mesures précédentes (tableau IV); quant aux résultats à 900 et 1 010 °C, ils permettent de préciser la courbe des différences « Température thermodynamique (T) — Température Kelvin Internationale Pratique (T_{68}) » entre 630 et 1 064 °C (*fig. 9*)*. On voit que, si la valeur admise actuellement pour le point de congélation de l'argent est correcte, celle qui est admise pour le point de l'or est trop élevée de 0,2 K, et que les températures fournies par le couple platine/platine rhodié sont sous-estimées au-dessous du point de l'argent et surestimées au-dessus, de quelques dixièmes de kelvin.

TABLEAU IV

Résultats des mesures pyrométriques faites au B.I.P.M.
(Température de référence 630,74 °C; $c_2 = 0,014\ 388\ \text{m} \cdot \text{K}$)

	Point de congélation de l'argent ($t_{68} = 961,93\ \text{°C}$)	Point de congélation de l'or ($t_{68} = 1\ 064,43\ \text{°C}$)
Mars-mai 1970		1 064,32 °C
Oct.-nov. 1970	961,92 °C	06
Janv.-fév. 1971		01
Mars 1971		19
Janv.-fév. 1972	97	23
Mars 1972		28
Nov.-déc. 1972		36
Janv.-fév. 1973	75	13
Moyenne	961,88	1 064,20
Écart-type	0,13	0,16

* *Note ajoutée aux épreuves.* — La longueur d'onde à prendre en considération dans la formule de Planck étant la longueur d'onde dans le vide, les valeurs du tableau IV doivent être augmentées de 0,13 K pour $t(\text{Ag})$ et 0,18 K pour $t(\text{Au})$, et les différences $T - T_{68}$ de la figure 9 doivent être corrigées en conséquence.

Fig. 9. — Différences $T - T_{88}$.

Qualité des cavités rayonnantes. — Les cavités, creusées dans des blocs de nickel pur, sont des cylindres de 90 mm de hauteur moyenne et de 70 mm de diamètre; pour que l'observation de la luminance soit possible, chaque cavité est percée d'une ouverture de 10 mm de diamètre qui altère ses propriétés par rapport au corps noir idéal.

En se fondant sur différents travaux (en particulier les calculs de E. M. Sparrow (4)) et en prenant pour l'émissivité de l'oxyde de nickel des valeurs volontairement sous-estimées (0,85 à 630 °C et 0,80 à 1 064 °C), on arrive à la conclusion que l'existence de l'ouverture n'entraîne qu'une erreur négligeable sur la valeur à attribuer au point de l'or.

Cependant, il a paru intéressant de procéder à une vérification en réduisant l'ouverture des cavités; on a donc comparé les luminances des deux cavités CN 1 et CN 2 (l'une à 630 °C, l'autre à 1 064 °C), d'abord avec une ouverture de 10 mm de diamètre, ensuite avec une ouverture réduite à 7 mm par adjonction de diaphragmes amovibles en nickel, tout en veillant à ce que les autres conditions de mesure soient aussi peu modifiées que possible d'une comparaison à l'autre. Dans les deux cas, on a obtenu le même rapport des luminances, ce qui confirme que la présence de l'ouverture n'introduit pas d'erreur systématique dans les mesures pyrométriques.

Transmission parasite des filtres interférentiels. — Dans le Rapport de 1971, p. 42, on faisait état des difficultés rencontrées avec un filtre interférentiel centré sur 1,06 μm ; ce filtre présentait une bande de transmission parasite au-delà de 1,25 μm que l'on croyait, à tort, complètement ignorée par le récepteur, en principe insensible dans ce domaine spectral. On a donc vérifié si les filtres utilisés pour les mesures pyrométriques avaient un résidu de transmission au-delà de leur pic principal de transmission. Dans ce but, on a comparé les luminances des deux cavités (l'une à 630 °C, l'autre à 1 064 °C) en interposant ou non devant chaque filtre interférentiel une couche d'eau de 10 mm d'épaisseur qui absorbe à peu près totalement l'infrarouge au-delà de 1,3 μm . Les résultats obtenus sont rassemblés au

(4) SPARROW (E. M.), Radiant emission characteristics of nonisothermal cylindrical cavities, *Applied Optics*, 4, 1965, pp. 41-43.

tableau V; on constate qu'ils ne sont pas modifiés de façon significative par la couche d'eau dans le cas des six filtres Schott, qui ne transmettent donc rien dans ce domaine spectral; mais on remarque aussi qu'avec la couche d'eau, l'ensemble des filtres « Spectrolab + Seavom » fournit un résultat qui s'accorde avec ceux des autres filtres.

TABLEAU V
*Influence, sur la différence $T(\text{Au}) - T_{68}(\text{Au})$,
 de l'interposition d'une couche d'eau de 10 mm d'épaisseur
 devant les filtres interférentiels*

Filtres	Schott 943	Schott 959	Schott 975	Schott 986	Schott 994	Schott 1 016	Spectrolab + Seavom 1 060	Moyenne Schott
Sans eau	— 0,15	— 0,23	+ 0,13	— 0,12	— 0,06	— 0,18	— 2,85	— 0,10 K
Avec eau	— 0,16	— 0,12	+ 0,16	— 0,12	+ 0,02	— 0,11	+ 0,06	— 0,06 K

Il faudrait maintenant pouvoir étudier de façon analogue ce qui se passe en deçà des pics principaux de transmission, domaine spectral où la sensibilité du récepteur est très grande.

Études courantes

Outre les vérifications périodiques normales des instruments du B.I.P.M., quatre thermomètres à résistance de platine ont été étalonnés: deux récemment acquis par le B.I.P.M., un pour le National Physical Research Laboratory (Afrique du Sud) et un pour le Laboratoire d'Océanographie Physique de l'Université de Paris VI.

Aménagement des locaux et matériel

Les installations des deux salles de la Section de thermométrie ont été rénovées; outre les travaux d'ordre général (eau, électricité, peinture), on a surtout cherché à utiliser au mieux l'espace disponible et à améliorer la stabilité de la température de ces salles qui sont mal protégées des variations de la température extérieure.

Trois cellules à point triple de l'eau (Spembley, Grande-Bretagne) et divers métaux purs (étain, zinc, antimoine, aluminium) ont été achetés.

Manométrie (J. Bonhoure)

Manobaromètre interférentiel de l'I.T.I. (Turin)

Le fonctionnement du manobaromètre interférentiel installé à l'Istituto Termometrico Italiano (I.T.I.) de Turin étant perturbé par le niveau particulièrement élevé des vibrations du sol, on a recherché avec la collaboration des Établissements Jaeger le moyen de mieux soustraire l'appareil aux vibrations. Un dispositif à capteur de vibrations, dont les informations sont utilisées dans un montage compensateur à cales piézoélectriques placé sous l'appareil, n'a pas donné les résultats escomptés bien qu'il ait déjà été employé avec succès au B.I.P.M. En revanche, l'accéléromètre que constituent les cales piézoélectriques a permis d'estimer et de comparer les états vibratoires des manobaromètres du B.I.P.M. puis de l'I.T.I.; la tension

observée au B.I.P.M. est en moyenne de 20 mV de crête à creux; à l'I.T.I. on a relevé 150 mV un samedi matin, qui peut être considéré comme un moment favorable de la semaine; les observations faites un lundi, jour où l'activité environnante est normale, permettent d'affirmer que l'état vibratoire à l'I.T.I. est au moins dix fois plus important qu'au B.I.P.M.

Une amélioration très sensible dans le fonctionnement du manobaromètre de l'I.T.I. a pu être obtenue en effectuant les trois opérations suivantes :

— suspension du manobaromètre par des fils d'acier de quelques centimètres de longueur plongeant dans une huile aux silicones, ce qui est efficace contre les vibrations horizontales;

— modification des soufflets de raccordement des canalisations pour qu'ils ne soient plus affectés par les variations de la pression intérieure et restent souples dans toutes les directions;

— remplacement du photomultiplicateur CsSb utilisé pour détecter la frange achromatique par un photomultiplicateur CsAgO; l'augmentation de la longueur d'onde efficace (0,8 μm au lieu de 0,5 μm) a permis de réduire l'effet des rides qui altèrent la surface des ménisques.

L'amélioration obtenue semble suffisante pour rendre le manobaromètre interférentiel de l'I.T.I. normalement utilisable.

Électricité (G. Leclerc)

13^e comparaisons des étalons nationaux de résistance et de force électromotrice

Ces comparaisons internationales ont demandé beaucoup plus de travail que les précédentes du fait du nombre des participants et de la diversité des comparaisons exécutées. Elles feront l'objet de deux rapports détaillés au Comité Consultatif d'Électricité.

Onze laboratoires ont été invités à prendre part à ces comparaisons : N.P.R.L. (Pretoria), A.S.M.W. (Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, nouveau nom du D.A.M.W., Berlin), P.T.B. (Braunschweig), N.B.S. (Washington), N.S.L. (Chippendale), N.R.C. (Ottawa), L.C.I.E. (Fontenay-aux-Roses), I.E.N. (Turin), E.T.L. (Tokyo), N.P.L. (Teddington) et I.M.N. (Leningrad). Ces laboratoires ont envoyé à Sèvres 36 étalons de résistance de 1 Ω , 15 étalons de résistance de $10^4 \Omega$ et 96 piles au sulfate de cadmium, du type saturé (dont 59 piles nues, définies à 20 °C, qui dès réception ont été immergées dans le bain d'huile qui contient les étalons de référence du B.I.P.M. et 37 piles réparties entre neuf enceintes thermorégulées à 30 °C).

Conformément au vœu exprimé par le B.I.P.M. qui souhaitait pouvoir contrôler la concordance entre les échelles de température utilisées dans les divers laboratoires, plusieurs de ceux-ci ont joint à leurs étalons électriques des dispositifs thermométriques : thermomètres à mercure, thermomètres à résistance de platine, thermistances de 50 ou 10 000 Ω environ à 25 °C, comparateur de tensions. La diversité de ces dispositifs a rendu leur étalonnage laborieux.

Les comparaisons des étalons de résistance ont été faites par un observateur, celles des piles par un autre. Le transfert, en janvier 1972, des installations de mesure des forces électromotrices de la salle 15 à la salle 4 a permis aux deux observateurs de travailler simultanément et indépendamment

dans d'excellentes conditions. L'ensemble des comparaisons a pu ainsi être effectué dans un délai raisonnable n'excédant pas six mois.

a) *Comparaison des étalons de résistance de 1 Ω .* — Aux 36 étalons des laboratoires nationaux ont été ajoutés six étalons du B.I.P.M. qui conservent Ω_{69-BI} . Ces 42 étalons ont été comparés suivant un schéma en rectangle comprenant six rangées de sept étalons. Les étalons d'un même laboratoire ont de plus été comparés l'un à l'autre dans toutes les combinaisons possibles; les 99 mesures « aller » ont été effectuées du 8 janvier au 9 février 1973 et les 99 mesures « retour » du 12 mars au 13 avril. Les résultats de ces mesures, traités par la méthode des moindres carrés, ont permis d'exprimer en fonction de Ω_{69-BI} la résistance à 20 °C de chaque étalon voyageur avec un écart-type de l'ordre de 0,03 $\mu\Omega$.

b) *Comparaison des étalons de résistance de 10⁴ Ω .* — Le B.I.P.M. ne disposant d'aucun étalon de 10 000 Ω de premier ordre, il a engagé dans cette comparaison sa bobine de passage de 100 à 10 000 Ω (type Hamon). Les 16 étalons ont été comparés au moyen d'un pont double (spécialement monté pour cet usage), suivant un schéma simplifié. Les 40 mesures « aller » ont été exécutées du 14 au 23 février et les mesures « retour » du 26 février au 9 mars 1973.

Ces mesures ont manqué d'homogénéité à cause de la diversité des étalons; six d'entre eux étaient en effet de type classique (on les a conservés et mesurés dans un bain d'huile), tandis que les dix autres, de construction plus récente, étaient du type E.S.I. ou General Radio (la température de la résistance étalon est mesurée au moyen d'un thermomètre à résistance incorporé à l'instrument). Les circuits de connexion au pont et la méthode de mesure de la température étaient différents d'un type à l'autre.

La résistance à 20 °C de chaque étalon voyageur, exprimée en fonction de Ω_{69-BI} , a été déduite de celle de la bobine de passage du B.I.P.M. (étalonnée avant et après la comparaison) avec un écart-type d'environ 6×10^{-8} .

c) *Comparaison des piles conservées dans le bain d'huile à 20 °C.* — Les treize groupes de piles obtenus en ajoutant deux groupes du B.I.P.M. (comportant chacun six piles) aux onze groupes nationaux voyageurs, ont été comparés deux à deux dans toutes les combinaisons possibles. Les 78 séries « aller » ont été effectuées du 8 au 27 janvier et du 12 au 23 février à une température moyenne de 19,984 °C et les 78 séries « retour » du 26 février au 9 mars et du 26 mars au 14 avril 1973, à une température moyenne de 20,008 °C. On en a déduit la force électromotrice à 20 °C de chaque pile, exprimée en fonction de V_{69-BI} , avec un écart-type de 0,023 μV .

d) *Comparaison de piles conservées à 30 °C dans des enceintes thermostatées aux groupes du B.I.P.M. conservés à 20 °C.* — On a comparé directement aux dix groupes primaires de référence du B.I.P.M., conservés à 20 °C, quatre groupes de piles conservés à 30 °C dans des enceintes thermostatées (N.P.R.L., N.B.S., E.T.L., B.I.P.M.). Pour ces comparaisons les erreurs systématiques étaient le plus à craindre: erreur d'étalonnage du potentiomètre par exemple (les différences de potentiel à mesurer pouvant dépasser 500 μV), mais surtout erreur dans le repérage de la température du bain d'huile contenant les piles primaires du B.I.P.M. Comme il était

nécessaire de connaître cette température en valeur absolue à 1 mK près, nous l'avons mesurée en utilisant simultanément trois thermomètres à résistance de platine, étalonnés l'un au N.P.L., l'autre à la P.T.B. et le troisième au B.I.P.M. Ces trois thermomètres, dont on a plusieurs fois modifié l'emplacement dans le bain d'huile, ont toujours donné des résultats en accord à quelques 10^{-4} K près.

Les comparaisons ont eu lieu aux périodes suivantes :

Enceinte	Mesures	
	Aller	Retour
N.P.R.L.	6-20 nov. 1972	8-19 avril 1973
B.I.P.M.	12 janv.-11 fév. 1973	10 mars-7 avril 1973
N.B.S.	1-22 fév. 1973	27 fév.-21 mars 1973
E.T.L.	2-24 fév. 1973	26 fév.-22 mars 1973

e) *Comparaison des piles conservées à 30 °C dans des enceintes thermo-régulées.* — Les dix groupes constitués par les enceintes de neuf laboratoires et celle du B.I.P.M. ont été comparés deux à deux dans toutes les combinaisons possibles. Les 45 séries « aller » ont été faites du 12 au 23 février; les 45 séries « retour » du 26 février au 9 mars 1973. Des valeurs attribuées aux piles à 30 °C du N.P.R.L., du N.B.S., de l'E.T.L. et du B.I.P.M. (comparaison d), on a déduit la force électromotrice à 30 °C des autres piles, exprimée en V_{69-BI} , avec un écart-type de $0,013 \mu V$.

f) *Comparaison des piles définies à 20 °C aux piles définies à 30 °C pour chaque laboratoire national.* — Ces comparaisons ont été effectuées pour étudier la stabilité relative des deux groupes d'un même laboratoire, l'un maintenu dans le bain d'huile et l'autre conservé dans une enceinte thermo-régulée, et pour vérifier la cohérence des trois comparaisons précédentes. Pour chaque laboratoire, on a fait cinq ou six comparaisons à deux époques symétriquement situées par rapport au 25 février 1973, date centrale des comparaisons a) à f).

Mesures en relation avec les 13^e comparaisons internationales

En décembre 1972 et en mai 1973 (c'est-à-dire immédiatement avant et après les comparaisons internationales proprement dites), nous avons comparé entre eux les étalons primaires qui conservent Ω_{69-BI} et V_{69-BI} et déterminé la valeur des étalons choisis pour représenter le B.I.P.M. dans les comparaisons internationales.

Les comparaisons internationales de résistance ont eu lieu à 20 °C; cependant, pour contrôler le coefficient de température de certains étalons, nous avons aussi mesuré la résistance à 23 °C (température de définition) de deux des étalons de $10^4 \Omega$ de type General Radio, et celle à 25 °C (température à laquelle ils sont conservés dans leur laboratoire d'origine) des trois étalons voyageurs de 1Ω du N.B.S.

Pour étudier l'influence du mode de transport sur le comportement des étalons voyageurs, le N.B.S. a envoyé au B.I.P.M. par fret dans des emballages spéciaux, quatre étalons de 1Ω supplémentaires qui ont fait l'objet d'une étude particulière.

Enfin, le Van Swinden Laboratorium des Pays-Bas, qui possède maintenant un laboratoire de haute métrologie électrique, a fait parvenir au B.I.P.M., pour qu'ils y soient étalonnés pendant la période des comparaisons internationales, les étalons de premier ordre suivants: trois étalons de résistance de $1\ \Omega$, deux étalons de résistance de $10^4\ \Omega$, six piles nues définies à $20\ ^\circ\text{C}$ et quatre piles conservées à $30\ ^\circ\text{C}$ dans une enceinte thermorégulée.

Étalons de résistance de $1\ \Omega$ en alliage or-chrome et en manganine spéciale

Les résultats des mesures effectuées à la fin de 1972 confirment les évolutions observées depuis plusieurs années (Rapport 1968, p. 56); en général, la résistance des étalons en alliage or-chrome diminue avec le temps. Des huit étalons de provenances diverses que nous possédons, deux sont très satisfaisants (variation annuelle: $-0,06\ \mu\Omega$ et $+0,067\ \mu\Omega$), quatre peuvent constituer des étalons secondaires acceptables (variation annuelle: $+0,33$, $-0,41$, $-0,42$ et $-1,10\ \mu\Omega$), tandis que les deux derniers sont à rejeter (variation annuelle: $-3,20$ et $-6,63\ \mu\Omega$).

La résistance de l'étalon expérimental en manganine spéciale (avec germanium) construit par l'E.T.L. continue à augmenter très régulièrement d'environ $0,31\ \mu\Omega$ par an.

Comparaison internationale circulaire des étalons de capacité en silice de $10\ \text{pF}$

Le cinquième et dernier circuit de la comparaison recommandée par le C.C.E. en 1963 a pris fin en mars 1973, date à laquelle le L.C.I.E. a renvoyé les condensateurs voyageurs à leur laboratoire d'origine, le N.B.S.; mais tous les résultats de ce cinquième circuit ne nous sont pas encore parvenus.

Cette comparaison internationale a montré que la réalisation d'un condensateur calculable du type Thompson-Lampard est une entreprise longue et difficile, et que tous les laboratoires n'avaient pas encore terminé sa mise au point lorsqu'ils ont reçu les condensateurs voyageurs.

Elle a démontré aussi l'excellente qualité des condensateurs voyageurs construits par le N.B.S.; leur stabilité est au moins égale à celle des meilleurs étalons de résistance de $1\ \Omega$, c'est-à-dire supérieure à 1×10^{-7} par an.

Pour ces raisons, le C.C.E. (13^e session, octobre 1972) a décidé de poursuivre l'expérience. Une nouvelle comparaison commencera dans quelques mois; elle permettra d'apprécier les progrès réalisés dans les laboratoires nationaux depuis les dernières mesures.

Amélioration et contrôle des installations du B.I.P.M. et études courantes

Avant d'entreprendre les comparaisons internationales, nous avons procédé à la rénovation de nos installations de mesure et à leur étalonnage: ohms « tare », boîtes « shunt », potentiomètres, pont de Smith (pour la mesure de la température).

Le B.I.P.M. a par ailleurs étudié 51 piles, dont plusieurs conservées dans des enceintes thermorégulées (à 28 , 30 ou $32\ ^\circ\text{C}$) et huit étalons de résistance de $1\ \Omega$ (définis à 20 ou $25\ ^\circ\text{C}$) pour les laboratoires ou organismes des pays suivants: Bulgarie, France, Hongrie, Inde, Luxembourg, République Populaire de Chine, Royaume-Uni, Suède (voir la liste détaillée à Certificats et Notes d'étude, p. 89).

Mise en œuvre de l'effet Josephson en vue de la conservation de V_{69-BI} (T. Witt)

Cabine blindée. — Une cage de Faraday d'environ $3,70 \text{ m} \times 2,45 \text{ m} \times 2,40 \text{ m}$ (dimensions intérieures) a été montée dans la salle 4 par la Société Industrielle du Ternois (France). Cette cage est constituée de panneaux en contre-plaqué de 20 mm d'épaisseur recouverts sur leurs deux faces de tôles électrozinguées de 1 mm d'épaisseur. L'alimentation électrique de l'intérieur de la cabine est filtrée; la puissance disponible est de 6 kW.

Après l'installation de cette cabine, le contrôle de ses caractéristiques a été effectué gracieusement par le Laboratoire Central des Industries Électriques; nous remercions en particulier Mr Blouet qui a bien voulu se déplacer pour faire ce contrôle.

Fabrication des jonctions. — Une centaine de plaquettes de verre portant chacune quatre jonctions Pb/PbO/Pb ont été préparées. Les premières jonctions fabriquées ont déjà été éprouvées en courant continu et nous avons conservé une dizaine de plaquettes jugées satisfaisantes. Soixante-quinze autres plaquettes (300 jonctions) non encore éprouvées sont actuellement conservées dans un récipient d'azote liquide à niveau constant.

Ensemble cryogénique. — Les cryostats à hélium et à azote liquides, le support de plaquette dans le guide d'ondes et le dispositif de pompage sur l'hélium ont été mis en place et essayés.

Micro-ondes. — L'utilisation de la source des micro-ondes (klystron), des guides d'ondes et des dispositifs de contrôle et de réglage est en cours.

Mesures électriques. — La plus grande partie des appareils destinés aux mesures électriques est au point, en particulier le comparateur de tensions et le système permettant d'éprouver les jonctions.

Photométrie (J. Bonhoure)

Études courantes

Outre les vérifications périodiques normales des instruments du B.I.P.M., on a effectué le contrôle de trois étalons d'intensité lumineuse et de quatre étalons de flux lumineux (Union technique de l'Automobile, du Motocycle et du Cycle, France).

Installations de mesure

Deux étalons de résistance électrique de $0,01 \Omega$ ont été achetés pour le contrôle de l'intensité de courant des lampes fonctionnant à basse tension et courant élevé.

Rayons X et γ (A. Allisy)

Comparaisons d'étalons d'exposition

a) dans le domaine des rayons X de faible énergie (M. Boutillon *)

Une comparaison a eu lieu en septembre 1972 entre les étalons d'exposition du B.I.P.M. et de l'Electrotechnical Laboratory (E.T.L.), Japon. Cette comparaison a été faite par l'intermédiaire d'un instrument de transfert de l'E.T.L. (chambre d'ionisation de petites dimensions à plaques parallèles) qui a été étalonné successivement à Tokyo et à Sèvres. Les

conditions expérimentales étaient les mêmes qu'en 1966, lors des comparaisons entre les étalons du N.B.S., du N.R.C. et du B.I.P.M. (Rapport 1967, p. 67).

Les valeurs du coefficient d'étalonnage M de cet instrument de transfert mesuré dans les deux laboratoires sont données au tableau VI.

TABLEAU VI

Comparaison indirecte des étalons d'exposition du B.I.P.M. et de l'E.T.L. (rayons X mous)

	10 kV		30 kV		50 kV	
	{ 50 cm air 2,9 mm Be		{ 50 cm air 2,9 mm Be 0,2 mm Al		{ 50 cm air 2,9 mm Be 4 mm Al	
Laboratoire	BIPM	ETL	BIPM	ETL	BIPM	ETL
Coefficient d'étalonnage M^* (en 10^{10} R/C)	0,994 4	0,990 2	0,993 7	0,989 7	1,078 9	1,082 2
Écart-type de la moyenne	0,02 %		0,02 %		0,05 %	
Erreur systématique (somme quadratique)	0,3 %	0,5 %	0,3 %	0,5 %	0,4 %	0,4 %
M_{BIPM}/M_{ETL}	1,004 ₂		1,004 ₀		0,997 ₀	

* Quotient du débit d'exposition dans le plan de référence par le courant d'ionisation mesuré.

Une comparaison directe a eu lieu en octobre 1972 entre les étalons d'exposition du B.I.P.M. et de l'Office National des Mesures (O.M.H.), Hongrie. L'étalon de l'O.M.H. est une chambre d'ionisation à plaques parallèles d'assez grandes dimensions (12 cm d'espacement de plaques, 13 cm entre le plan de définition du diaphragme et le centre du volume de mesure).

La comparaison n'a pas été faite à 10 kV, car pour ce rayonnement les dimensions de la chambre d'ionisation de l'O.M.H. conduisent à des corrections trop grandes et mal connues, notamment la correction due à la contribution des photons diffusés.

Les corrections d'effet de polarité et de manque de saturation pour cet étalon ont été mesurées au B.I.P.M. à 30 et à 50 kV pendant la comparaison. On donne dans le tableau VII le rapport entre les mesures d'un même débit d'exposition effectuées avec l'étalon du B.I.P.M. et celui de l'O.M.H. L'accord entre les deux chambres est excellent.

TABLEAU VII

Comparaison directe des étalons d'exposition du B.I.P.M. et de l'O.M.H. (rayons X mous)

	30 kV	50 kV (a)	50 kV (b)
	{ 50 cm air 2,9 mm Be 0,2 mm Al	{ 50 cm air 2,9 mm Be 4 mm Al	{ 50 cm air 2,9 mm Be 1 mm Al
$\dot{X}_{BIPM}/\dot{X}_{OMH}$	1,003 1	0,999 5	1,000 4
Écart-type de la moyenne	0,03 %		
Erreur systématique (somme quadratique)	0,4 %		

b) pour le rayonnement γ du ^{60}Co (M.-T. Niatel*)

L'étalon d'exposition de l'O.M.H. (chambre cylindrique à parois de graphite du type « dé à coudre ») a été comparé à l'étalon du B.I.P.M. en octobre 1972. Les conditions expérimentales étaient les mêmes que pour les comparaisons précédentes (Rapports 1971, p. 52, et 1972, p. 58). Le tableau VIII donne les facteurs de correction permettant de calculer le débit d'exposition à partir du courant d'ionisation massique mesuré et le tableau IX donne les résultats de la comparaison.

TABLEAU VIII

Facteurs de correction pour l'étalon d'exposition de l'O.M.H.

Rapport des pouvoirs de ralentissement	1,007 1
Rapport des coefficients d'absorption de l'énergie	0,999 42
Atténuation apparente dans les parois*	1,019 7
Origine moyenne des électrons	0,995
Recombinaison des ions*	1,002 0
Rayonnement diffusé par le support de la chambre*	0,999 0
Non-uniformité radiale du faisceau	1,000 5

* Facteur mesuré au B.I.P.M. pendant la comparaison.

TABLEAU IX

Comparaison des étalons d'exposition (^{60}Co) du B.I.P.M. et de l'O.M.H.

$(\dot{X}_{\text{BIPM}}/\dot{X}_{\text{OMH}})^*$	Erreur aléatoire relative** (niveau de confiance 95 %)	Erreur systématique relative (somme quadratique)
1,003 9	0,3 %	0,5 %

* \dot{X}_{BIPM} est la valeur moyenne des mesures du débit d'exposition s'étendant sur une période d'un an et demi; \dot{X}_{OMH} est la valeur moyenne des mesures du débit d'exposition effectuées pendant trois jours.

** L'erreur aléatoire ne comprend pas seulement les erreurs statistiques concernant les mesures des courants d'ionisation, mais aussi toutes les autres erreurs d'origine statistique, par exemple celles qui sont calculées quand on détermine les droites de régression pour la saturation, pour l'atténuation apparente dans les parois, etc.

Une autre chambre d'ionisation de l'O.M.H. fut comparée à l'étalon du B.I.P.M.; l'écart est de 1 % dans ce cas. Cette chambre est de plus grandes dimensions que l'étalon de l'O.M.H., ce qui pourrait être la cause d'erreurs systématiques plus importantes.

Modification du dispositif de mise en place des chambres d'ionisation dans le faisceau de rayons γ du ^{60}Co

Un banc de tour (Andrychowska Fabryka Maszyn, Andrychow, Pologne) a été installé dans la salle 8 bis. L'axe du faisceau de rayons γ étant repéré à l'aide d'une lunette, on a réglé le banc pour le rendre parallèle à cet axe. Les distances des chambres à la source, mesurées le long du banc, seront obtenues avec une excellente précision au moyen d'un lecteur numérique. Par déplacement du chariot transversal, il sera aisé de placer successivement dans le faisceau deux chambres d'ionisation, ce qui améliorera la technique

des comparaisons internationales d'étalons d'exposition. Le chariot peut recevoir soit la semelle sur laquelle seront fixées les chambres, soit la semelle supportant le fantôme pour les mesures de dose absorbée. L'ensemble est entouré d'une enceinte thermiquement isolante (3 m × 1,6 m × 2 m) constituée de plaques de polystyrène expansé de 4 cm d'épaisseur recouvertes de contre-plaqué sur leurs deux faces; deux portes permettent d'accéder à l'intérieur de l'enceinte.

Variation du courant d'ionisation massique en fonction de la pression dans une chambre à cavité soumise au rayonnement γ du ^{60}Co (M.-T. Niatel, G. Hofmeester*)*

Cette étude avait été commencée en 1969 dans le domaine de pression $0,27 \times 10^5$ à 10^5 Pa et avait mis en évidence une variation du courant d'ionisation massique différente de celle que prévoit la théorie de Spencer-Attix (Rapport 1970, p. 60). En 1972, ces mesures ont été étendues au domaine 10^5 à 3×10^5 Pa. La pression était mesurée à l'aide d'un manomètre à piston tournant (C.E.C. Bell et Howell). Les mesures de 1969 ayant été effectuées avec une autre chambre à cavité (actuellement hors d'usage) et un autre manomètre, on a d'abord contrôlé, pour des pressions comprises entre $0,5 \times 10^5$ et 10^5 Pa, les résultats précédemment obtenus

Les corrections de saturation aux pressions de 10^5 à 3×10^5 Pa posent moins de problèmes théoriques qu'aux faibles pressions mais elles sont plus importantes (1 % à la pression de 3×10^5 Pa). D'après la figure 10, il semble que le courant d'ionisation massique I/m commence à décroître quand la masse d'air contenue dans la chambre devient supérieure à 17 mg environ (pression supérieure à 2×10^5 Pa), alors qu'on s'attendait à voir I/m tendre vers une valeur constante. On recherche les causes d'erreurs systématiques possibles, en particulier dans la mesure de la pression et dans la correction de saturation.

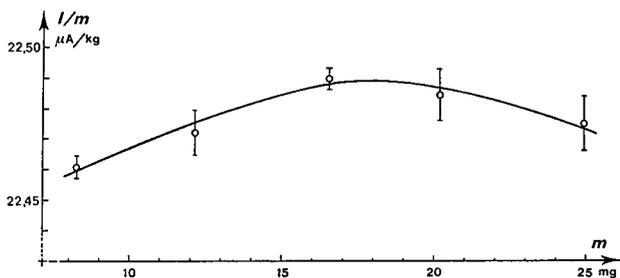


Fig. 10. — Variation du courant d'ionisation massique I/m en fonction de la masse d'air m contenue dans la chambre à cavité.

Mesure de la dose absorbée produite dans un fantôme de graphite par le rayonnement γ du ^{60}Co (M.-T. Niatel, M. Boutillon*, G. Hofmeester*)*

Dans sa réunion des 3, 4 et 5 mai 1972, la Section I (Rayons X et γ , électrons) du C.C.E.M.R.I. (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 40, 1972, p. 124) a défini la géométrie du fantôme de graphite à utiliser pour les étalons de dose absorbée. Un fantôme conforme à ces normes a été réalisé pour les mesures au B.I.P.M. Il est constitué par sept disques de graphite accolés

(diamètre 30 cm, épaisseur 28 mm), usinés par la Société Le Carbone-Lorraine à partir de blocs cylindriques de graphite de haute pureté. La dose absorbée doit être mesurée au sein du fantôme à une profondeur correspondant à une masse surfacique de 5 g/cm^2 . Au B.I.P.M., on a choisi pour cette mesure la méthode ionométrique. On a donc construit dans ce but une nouvelle chambre à cavité à parois de graphite, analogue à l'étalon d'exposition, et dont le volume a été déterminé par les procédés mécaniques décrits antérieurement (Rapport 1969, p. 75). Dans les deux premiers disques (côté source) du fantôme on a creusé le logement de la chambre, de ses connexions et d'une thermistance. Les figures 11 et 12 montrent le fantôme et la chambre en place dans le premier disque.

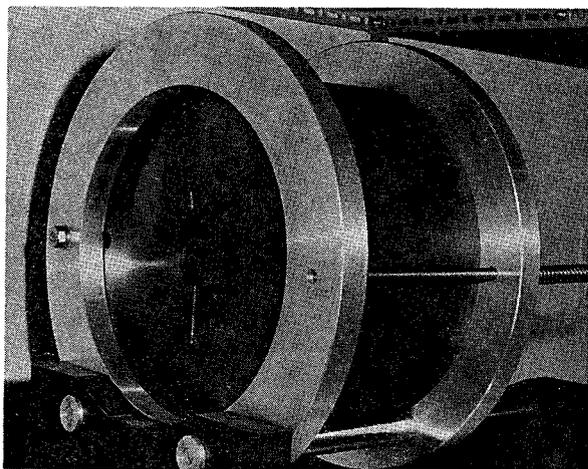


Fig. 11. — Fantôme de graphite pour la mesure de la dose absorbée.

Le premier disque a été enlevé pour permettre de voir le logement de la chambre à cavité.

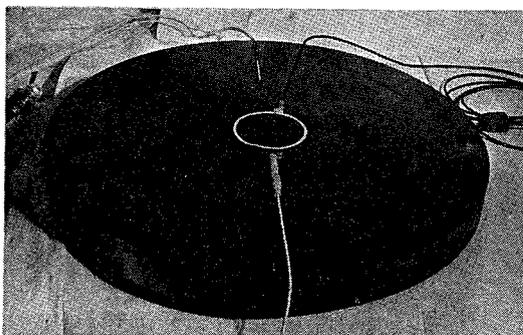


Fig. 12. — Premier disque du fantôme avec la chambre à cavité et la thermistance.

Puisque le point de référence pour la mesure de la dose absorbée est défini comme étant situé à une profondeur correspondant à 5 g/cm^2 de la face d'entrée, il importe de connaître la masse volumique du graphite dans

la partie avant (côté source) du fantôme. D'autres disques actuellement en réserve pourront également être utilisés à l'avant du fantôme pour y placer d'autres étalons de dose absorbée (calorimètres ou chambres d'ionisation). On a donc déterminé la masse volumique pour une série de six disques : cinq de 28 mm et un de 18 mm d'épaisseur, ce dernier étant destiné à l'étude de la variation de la dose absorbée avec la profondeur. L'épaisseur de l'un des disques de 28 mm fut ajustée pour obtenir la masse surfacique requise de 5 g/cm^2 , compte tenu de la masse volumique trouvée : $1,807 \text{ g/cm}^3$. Ce disque fut alors fraisé pour y loger une moitié de la chambre et placé à l'avant du fantôme. Les masses volumiques trouvées pour les autres disques sont comprises entre $1,789$ et $1,810 \text{ g/cm}^3$, ce qui représente une dispersion de 1,2 %. En fait, il s'agit de masses volumiques moyennes. Les variations locales à l'intérieur d'un même disque seront étudiées par l'atténuation du rayonnement traversant différentes régions.

La chambre destinée à la mesure de la dose absorbée peut aussi être utilisée pour déterminer l'exposition. On a comparé les résultats qu'elle fournit à ceux de l'étalon d'exposition : l'écart est de 0,17 %. La principale cause de cet écart est probablement l'erreur commise dans les mesures des volumes des deux chambres.

On a commencé l'étude de la variation de la dose absorbée en fonction de la distance de la chambre à la face avant du fantôme. Les résultats sont assez proches des prévisions théoriques de M. Boutillon.

Détermination de coefficients d'atténuation pour un rayonnement γ de 1,33 MeV (A.-M. Roux)*

L'étude des coefficients d'atténuation (Rapport 1971, p. 54) a été approfondie et étendue à d'autres éléments. Ce travail a porté sur deux points :

— recherche et évaluation des erreurs systématiques dans la mesure du coefficient d'atténuation de l'aluminium ;

— mesures, par rapport à l'aluminium, de l'atténuation produite par des composés organiques constitués de carbone et de chlore dans des proportions différentes, en vue de la détermination du coefficient d'atténuation du chlore.

a) *Erreurs systématiques dans la mesure du coefficient d'atténuation de l'aluminium.* — La détermination de ce coefficient revêt une importance particulière puisque dans notre méthode il sert de référence pour la mesure des coefficients d'atténuation d'autres éléments.

Une cause d'erreur systématique est due à la superposition des impulsions à la sortie de l'amplificateur, ce qui conduit à une modification du spectre d'impulsions. Ce phénomène est fonction du taux de comptage, les impulsions ayant une probabilité plus grande de se superposer quand celui-ci est plus élevé.

Dans la détermination de la courbe d'atténuation des photons du ^{60}Co par l'aluminium, les taux de comptage mesurés avec et sans filtre sont par conséquent affectés différemment et il en résulte une erreur systématique sur leur rapport. On a étudié expérimentalement, en fonction du seuil de comptage, la variation du rapport R des taux de comptage obtenus d'une part avec le filtre d'aluminium le plus épais (7 cm), d'autre part sans filtre.

S'il n'y avait pas de superposition des impulsions, ce rapport devrait être constant à partir du seuil 1,26 MeV pour lequel on ne mesure plus que des photons de 1,33 MeV. La figure 13 donne l'allure de la courbe obtenue expérimentalement pour deux distances source-détecteur de 13 et 23 m, pour lesquelles les taux de comptage sont respectivement d'environ 3 750 et 1 250 s⁻¹ sans filtre, et 1 350 et 450 s⁻¹ avec filtre.

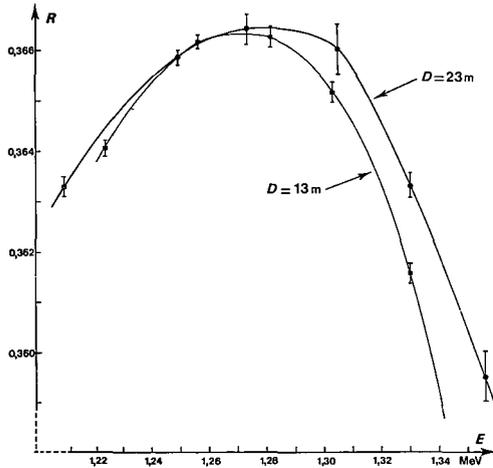


Fig. 13. — Rapport R des taux de comptage obtenus avec le filtre d'aluminium de 7 cm d'épaisseur et sans filtre, en fonction de l'énergie E du seuil de comptage, pour deux distances D entre la source et le détecteur.

Les impulsions superposées apparaissent surtout dans la partie du spectre correspondant aux énergies élevées. Lorsqu'on déplace le seuil de comptage vers cette région, les impulsions superposées représentent une contribution plus importante dans le taux de comptage et la mesure est trop forte. Cet effet étant plus grand dans le cas sans filtre, il en résulte une diminution de R , ce qui est vérifié expérimentalement. Un autre phénomène intervient aussi lorsqu'on déplace le seuil de comptage vers les énergies inférieures à 1,26 MeV : on mesure des impulsions dues à des photons de 1,17 MeV qui sont atténués davantage par le filtre, ce qui explique la diminution de R dans cette région.

En utilisant une méthode de simulation, des calculs ont été faits à l'ordinateur en collaboration avec J.W. Müller pour estimer la correction à appliquer à R . Pour un taux de comptage donné, on calcule le spectre sans superposition et le spectre modifié par les superpositions : les hauteurs des impulsions successives sont choisies aléatoirement, ainsi que leur distribution dans le temps ; la forme de l'impulsion résultante est calculée et sa hauteur est déterminée.

La variation de R avec le seuil de comptage a été déterminée à partir des spectres avec superposition obtenus par ces calculs ; elle est en accord avec la courbe de la figure 13. La correction à appliquer à R augmenterait celui-ci de 1 à 2 pour mille dans le cas où les mesures seraient effectuées à un seuil de 1,25 MeV. Des calculs sont en cours pour préciser cette valeur.

b) *Mesures d'atténuation par le tétrachlorure de carbone et le tétrachloréthylène.* — Ces composés étant utilisés en spectroscopie, on a pu se les procurer sous une forme très pure. On a déterminé leur masse volumique par pesée hydrostatique entre 19 et 22 °C. Deux cuves cylindriques d'environ 7 cm de longueur, fermées à leurs extrémités par des plaques de verre, ont été construites; la distance entre ces plaques, mesurée avec précision, a été prévue pour que le rapport entre l'atténuation par les cuves remplies de liquide et par un filtre d'aluminium de 4 cm soit voisin de 1. Pour chaque composé on a effectué avec chaque cuve plusieurs séries de mesures du rapport $\frac{e^{-(\mu x)_{\text{liquide}}}}{e^{-(\mu x)_{\text{Al}}}}$. L'ensemble filtre et cuves était placé dans une enceinte

dont la température était maintenue à 20 °C environ. La température des liquides était mesurée à l'aide d'une thermistance. Les rapports déterminés expérimentalement ont été comparés aux rapports théoriques obtenus en utilisant les valeurs des coefficients d'atténuation récemment calculés par J. H. Hubbell (N.B.S.).

Le tableau X présente les résultats obtenus et met en évidence un excellent accord avec les déterminations théoriques de J. H. Hubbell.

TABLEAU X

Rapport $\frac{e^{-(\mu x)_{\text{liquide}}}}{e^{-(\mu x)_{\text{Al}}}}$ pour le tétrachlorure de carbone
et le tétrachloréthylène, pour un rayonnement γ de 1,33 MeV

	Rapport expérimental et écart-type	Rapport calculé en utilisant les valeurs théoriques de Hubbell	
CCl ₄ {	cuve A	1,004 79 ± 0,000 19	1,004 57
	cuve C	1,004 62 ± 0,000 28	1,004 75
C ₂ Cl ₄ {	cuve A	0,992 67 ± 0,000 18	0,992 89
	cuve C	0,992 97 ± 0,000 18	0,993 09

A partir de ces rapports expérimentaux et du coefficient d'atténuation de l'aluminium, on peut déduire les coefficients d'atténuation pour le tétrachlorure de carbone et le tétrachloréthylène. Les coefficients d'atténuation des composants C et Cl seront obtenus par résolution d'un système d'équations linéaires, en admettant que le coefficient d'atténuation

μ/ρ du composé est égal à $\sum_{i=1}^{i=n} p_i \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_i$, où n est le nombre de composants,

p_i les proportions en masse de chaque composant, et $(\mu/\rho)_i$ leur coefficient d'atténuation.

Des mesures pour déterminer une courbe d'atténuation dans le carbone ont été abandonnées à cause des inhomogénéités trop importantes dans le graphite utilisé.

Radionucléides (A. Rytz, J. W. Müller)

Étalonnage de sources radioactives

Le comptage par coïncidences $4\pi\beta(\text{CP})-\gamma$ (compteur proportionnel à géométrie de 4π pour les rayons β , détecteur à scintillations pour les

rayons γ) reste la méthode de choix pour déterminer l'activité absolue de sources de certains radionucléides. Il convient cependant d'intercaler entre les mesures de sources d'activité inconnue celles de sources étalons. Ce procédé joint aux avantages d'une méthode absolue, mais susceptible d'entraîner de petites erreurs systématiques et variables, les avantages des échantillons stables, observés continuellement. Cela implique la connaissance des propriétés des sources étalons et des périodes radioactives et crée un besoin permanent de surveiller les mesures et de perfectionner la méthode.

Distribution de sources étalons

Depuis la rédaction du « Rapport sur la distribution d'étalons de radioactivité » (voir Rapports internes), seuls le Bandung Reactor Centre (B.R.C.), Indonésie, et le Centre d'Études Nucléaires de Casaccia, Italie, nous ont demandé de leur envoyer des sources solides. Chacun de ces laboratoires a reçu un jeu de six sources de ^{60}Co préparées et mesurées par le B.I.P.M. Celles qui étaient destinées au B.R.C. ont été préparées sur supports spéciaux.

Mesures de périodes radioactives

Les résultats obtenus au B.I.P.M. lors de mesures absolues répétées de certaines sources de radionucléides permettent de calculer les périodes. Tant que nous n'utilisons que des produits de haute pureté et que ces résultats suivent une décroissance exponentielle, on peut estimer que la pureté radionucléidique est suffisante et que ces valeurs de période ont une exactitude égale à celle que donnerait un calcul par la méthode des moindres carrés.

Nous avons obtenu les valeurs suivantes :

	Période $T_{1/2}$ et écart-type (en d)	Nombre de mesures	Temps écoulé entre la première et la dernière mesure (en $T_{1/2}$)
^{54}Mn	312,19 \pm 0,13	38	2,22
^{60}Co	1 924,8 \pm 1,0	24	1,10

Ces résultats sont en excellent accord avec ceux que l'on trouve dans les publications.

Amélioration des sources de ^{54}Mn

Le ^{54}Mn convient particulièrement bien comme étalon d'activité et l'on arrive à des résultats presque aussi sûrs qu'avec le ^{60}Co . Toutefois, il est préférable de préparer les sources par dépôt électrolytique pour que l'auto-absorption soit suffisamment faible. Quant aux sources préparées par séchage de gouttes pesées, elles contiennent plus de matière solide et donnent une auto-absorption parfois assez forte, et par suite une valeur élevée de la correction dépendant du schéma de désintégration; cette correction est obtenue par extrapolation en traçant une droite dont la pente varie suivant le mode de préparation de la source. Il est donc important de diminuer

l'auto-absorption des sources préparées par pesée, ce qui diminue l'intervalle d'extrapolation et par suite l'incertitude sur les résultats des mesures.

L'auto-absorption peut être réduite par l'adjonction d'un agent mouillant à la goutte radioactive déposée sur le support, mais nos essais avec sept agents différents n'ont pas apporté de progrès notable. Le Ludox SM, utilisé depuis toujours, semblait encore le plus efficace.

Finalement, une technique déjà employée dans le passé, mais quelque peu oubliée, a permis de diminuer fortement l'auto-absorption. Elle consiste à diluer la solution aqueuse, légèrement acide, de ^{54}Mn (0,1 mol de HCl par dm^3 de solution) par une solution inactive et plus acide (6 mol de HNO_3 par dm^3). On peut supposer que la forte acidité empêche la formation d'hydroxyde de manganèse qui, dans une solution peu acide à laquelle on ajoute un agent mouillant, pourrait se former, s'oxyder à l'air et se transformer en MnO_2 , insoluble.

Comparaison d'une solution de ^{54}Mn

A la suite des réponses reçues au questionnaire du 25 janvier 1971, nous avons organisé une petite comparaison dans le but de déterminer le mieux possible l'activité massique d'une solution de ^{54}Mn , par la méthode des coïncidences $4\pi(e, X)-\gamma$. Six ampoules d'une même solution ont été préparées et envoyées aux trois participants par le Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants (L.M.R.I.), Saclay, France; malheureusement, l'un des participants a dû se retirer.

Nous avons préparé un formulaire inspiré de la comparaison de 1965. Les mesures se sont étalées sur six mois environ, entraînant une petite incertitude due à celle de la période du ^{54}Mn . Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau XI et sont exposés en détail dans le Rapport BIPM-73/8.

TABLEAU XI

Résultats de la comparaison d'une solution de ^{54}Mn

	B.I.P.M.	I.E.A. (Brésil)	L.M.R.I. (Saclay)
Nombre de sources mesurées.....	40	29	24
Activité massique au 15 juin 1972, 0 h TU (en $\mu\text{Ci} \cdot \text{g}^{-1}$)	24,083	24,101	24,203
Erreur (en $\mu\text{Ci} \cdot \text{g}^{-1}$)	(statistique systématique..... due à la période.....	0,003	0,013
		0,033	0,035
		0,009	0

Les erreurs indiquées sont des écarts-types.

Mesures par coïncidences $4\pi\beta-\gamma$ de radionucléides à schéma de désintégration complexe

Les rayons β émis par une source ne sont jamais détectés avec 100 % d'efficacité, certains d'entre eux ayant toujours une énergie trop faible. L'inefficacité du compteur donne lieu à une correction qui peut être déterminée par un procédé d'extrapolation. Une variation de l'efficacité peut être obtenue en couvrant la source de feuilles minces qui absorbent le rayonnement. Pour chaque épaisseur on détermine le taux de désintégration

apparent N'_0 et la valeur de l'efficacité ε_β . Des expériences et des considérations théoriques suggèrent que N'_0 varie à peu près linéairement avec ε_β^{-1} . Dans le cas d'un schéma de désintégration complexe, il est possible d'obtenir plusieurs droites dont la pente dépend du choix de la fenêtre dans la voie γ , c'est-à-dire du domaine d'énergie dans lequel le détecteur γ est sensible. A peine une dizaine de radionucléides ont des périodes suffisamment longues pour ces expériences. Nous avons commencé à étudier le ^{134}Cs et le $^{110}\text{Ag}^m$.

Les figures 14 et 15 représentent les schémas de désintégration simplifiés, les spectres γ observés et les résultats de comptage obtenus pour ces deux radionucléides en utilisant différentes fenêtres dans la voie γ . On s'aperçoit que les droites extrapolées se recoupent, pour $\varepsilon_\beta = 1$, pratiquement en un point, mieux pour le ^{134}Cs que pour le $^{110}\text{Ag}^m$. On remarque aussi qu'avec

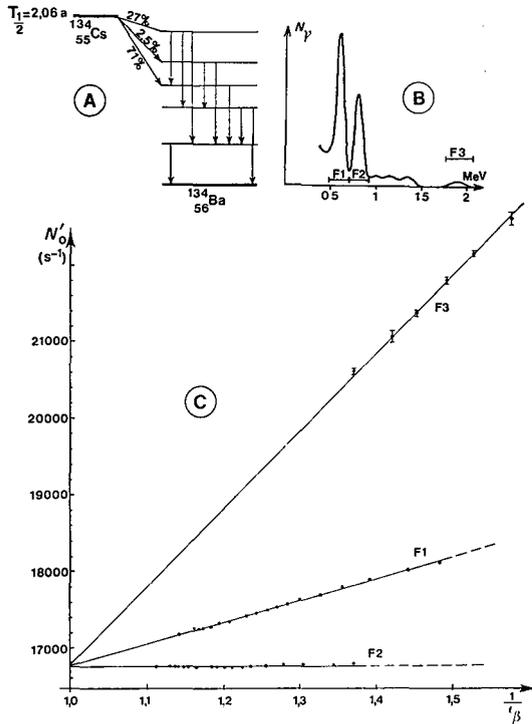


Fig. 14. — A, Schéma de désintégration simplifié du ^{134}Cs . B, Spectre γ observé. C, Résultats des comptages $4\pi\beta\text{-}\gamma$: taux de comptage apparent N'_0 en fonction de l'inverse de l'efficacité β , pour trois fenêtres γ différentes (F1, F2, F3).

ce dernier, l'efficacité β maximale est un peu plus élevée qu'avec le ^{134}Cs , ce qui diminue la distance jusqu'à l'intersection. L'avantage de l'argent réside dans la possibilité de préparer des sources par électrolyse. En revanche, l'activité parasite de ^{110}Ag pourrait troubler quelque peu les résultats.

Les expériences continuent. Toutefois, on peut déjà dire que le ^{134}Cs

est un candidat sérieux pour une comparaison internationale future. Quant au $^{110}\text{Ag}^m$, l'instabilité notoire des sels d'argent sera toujours un obstacle considérable.

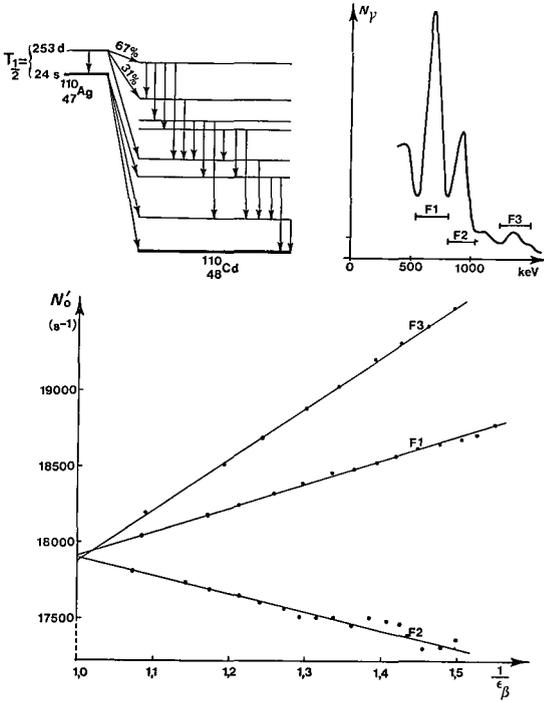


Fig. 15. — Autre exemple de comptage $4\pi\beta\text{-}\gamma$ d'un radionucléide à schéma de désintégration complexe: $^{110}\text{Ag}^m$; même représentation que dans la figure 14.

Problèmes de la micropesée

a) *Comparaison internationale de pesées.* — La comparaison des pesées de six jeux de masses (échantillons en nickel-chrome) de 20, 50 et 100 mg dans six laboratoires utilisant tous des balances Mettler M 5 (voir Rapport 1972, p. 67) est achevée.

Le but de cette comparaison était d'établir la limite inférieure de l'inexactitude pour les pesées de gouttes de solutions radioactives, dans les conditions habituelles et pour le type de balance utilisé par la majorité des laboratoires.

Les conclusions les plus importantes sont les suivantes :

1. Les laboratoires de métrologie des masses sont capables de déterminer la masse de tels échantillons à 1 μg près.

2. Deux des dix-huit échantillons ayant subi des pertes de masse inexplicables de plusieurs microgrammes, on ne sera jamais complètement à l'abri de tels imprévus.

3. En utilisant des balances M 5 sans étalonner ni les masses incorporées ni l'échelle optique, des erreurs supérieures à 10 μg sont probables, pouvant atteindre jusqu'à plusieurs dizaines de microgrammes.

4. L'étalonnage de l'échelle optique, surtout de sa moitié supérieure, améliore l'exactitude.

5. En étalonnant aussi les masses incorporées ou en utilisant la méthode de substitution à l'aide d'un jeu de masses récemment étalonné, on peut ramener l'inexactitude à environ 6 μg .

Le rapport détaillé de cette comparaison a été rédigé par H. Moret et J. Brulmans (B.C.M.N., Euratom, Geel) et A. Rytz (voir Rapports internes, p. 88).

b) Étalonnage de la microbalance M 5. — Les résultats obtenus au B.I.P.M. en mai-juin 1972 pour la comparaison internationale précédente étaient fondés sur un étalonnage de la balance M 5 effectué en 1971 avec la série de masses en nickel N° 5 du B.I.P.M. dont l'étalonnage datait de 1965 et n'avait pu être refait avant la comparaison internationale. Un nouvel étalonnage de la série N° 5, effectué en février 1973, a permis d'améliorer considérablement nos résultats et a montré la nécessité d'étalonner la balance M 5 plus souvent en utilisant des masses récemment étalonnées.

On a par ailleurs constaté qu'il faut surveiller et éventuellement corriger plus fréquemment la sensibilité de la balance; une surcharge étalonnée en acier inoxydable, en forme d'anneau, a été réservée à cet usage.

c) Essais d'un nouveau type de microbalance. — La Société Mettler (Greifensee, Suisse) a mis à notre disposition une balance du type ME 22 pour que nous puissions en étudier les performances et l'application aux pesées de gouttes.

La balance ME 22 est une microbalance électronique à charge maximale de 3,1 g et affichage numérique. Son plateau, trop étroit pour les pycnomètres en polyéthylène, a été remplacé par une suspension en forme de crochet. Les manipulations du pycnomètre à l'intérieur de la cage, qui est très petite, ne sont pas faciles mais n'empêchent pas des pesées sûres et rapides.

L'avantage de cette balance réside surtout dans la simplicité des lectures et dans la rapidité accrue des pesées. Cependant, pour une résolution de 1 μg , le domaine de pesée n'est que de 20 mg, alors que nous avons l'habitude de préparer des sources de 20 à 100 mg. En outre, cette balance ne permet pas les pesées en série, car le domaine de tarage électrique ne dépasse pas le domaine de pesée.

Des expériences sont en cours pour savoir si cette balance présente des avantages pour la pesée de gouttes de solutions radioactives.

Chambres d'ionisation $4\pi\gamma$

Suivant le souhait exprimé par la majorité des membres de la Section II du C.C.E.M.R.I. (septembre 1972), le B.I.P.M. sera équipé prochainement d'une chambre d'ionisation à puits. Cette chambre servira principalement à établir un système de référence pour comparer rapidement et à tout moment les étalons de solutions radioactives préparés par les laboratoires nationaux.

Les résultats de ces mesures s'exprimeront par rapport à un jeu de sources de référence (^{226}Ra) et ne seront donc pas absolus. Cependant, une fois mis en place et soigneusement étudié et essayé, cet appareil permettra au B.I.P.M. de jouer son rôle de gardien d'un système international d'étalons de radioactivité.

Il est prévu de mettre sur pied un ensemble pour la mesure automatique du courant d'ionisation, analogue à celui qui est utilisé par le groupe des rayons X pour les mesures d'exposition (voir Rapport 1964, p. 54). Les différents appareils ont déjà été commandés, ainsi que les chambres d'ionisation et les sources de radium. Nous avons prévu deux chambres identiques (20th Century Electronics, type IG 11) remplies d'azote à une pression de 2 MPa, afin de pouvoir surveiller l'étanchéité.

Phénomènes aléatoires et statistiques de comptage

Des questions concernant les impulsions secondaires dans les compteurs ont suscité récemment l'intérêt de plusieurs laboratoires qui travaillent dans le domaine des mesures absolues d'activité. Cela s'explique par le danger que présenteraient ces impulsions en faussant systématiquement tous les comptages. Les possibilités de mesure directe de ce phénomène étant limitées, il nous a paru utile de chercher d'autres méthodes. Par ailleurs, nos études prolongent de façon assez naturelle les travaux antérieurs sur les impulsions corrélées (problème « mère-fille »). Elles ont d'abord demandé une description plus claire et succincte du comportement statistique d'impulsions en présence de paires et nous ont finalement amenés à proposer un dispositif, de principe simple et général, permettant de déterminer quantitativement les impulsions multiples. Outre ce travail principal, quelques autres problèmes ont été aussi traités, comme le montre par exemple l'épreuve décrite brièvement ci-après pour la mise en évidence d'une distorsion due à un temps mort.

a) Détection de la présence d'un temps mort perturbateur

Dans l'analyse de distributions empiriques de comptages, on est souvent confronté avec le problème de savoir si l'on a le droit d'admettre que le processus étudié suit la simple loi de Poisson, ce qui faciliterait l'analyse. Normalement, une telle décision est fondée sur un contrôle général du type χ^2 . Or, dans le cas fréquent où l'on connaît à l'avance le genre de perturbation éventuelle, une épreuve plus spécifique serait souhaitable.

Considérons en particulier le cas d'un processus original de Poisson avec taux de comptage ρ qui a été distordu par un temps mort τ . Alors, la probabilité P_μ d'observer k événements dans un temps t

$$P_\mu(k) = e^{-\mu} \cdot \frac{\mu^k}{k!}, \quad \text{avec} \quad \mu = \rho \cdot t,$$

doit être remplacée par un développement (pour $\tau < t$)

$$W_\mu(k) = P_\mu(k) \sum_{j=0}^{\infty} C_j \cdot \left(\frac{\tau}{t}\right)^j,$$

où les coefficients C_j dépendent de μ et de k .

En supposant la perturbation petite — et ce n'est évidemment que dans ce cas que l'on a besoin d'un tel contrôle —, on se contentera de l'approximation

$$W_{\mu}(k) \approx P_{\mu}(k) \left[1 + k(\varrho t - k + 1) \frac{\tau}{t} \right].$$

En utilisant la valeur moyenne expérimentale $\bar{k} = \mu/(1 + \varrho\tau)$, on peut trouver pour la distribution modifiée la forme

$$W_{\mu}(k) \approx P_{\bar{k}}(k) \left\{ 1 + [k - (k - \bar{k})^2] \frac{\tau}{t} \right\}.$$

On en déduit que cette distribution recoupe la distribution originale en deux points qui sont déterminés par $k = (k - \bar{k})^2$, c'est-à-dire aux valeurs

$$k_{\pm} = \bar{k} + \frac{1}{2} \pm \sqrt{\bar{k} + \frac{1}{4}}$$

qui ne dépendent plus du temps mort. Par rapport à une distribution de Poisson dont l'espérance est égale à la valeur moyenne expérimentale \bar{k} , la présence d'un temps mort a donc pour effet d'augmenter la probabilité d'observer k événements si les valeurs de k sont dans le domaine délimité par k_{-} et k_{+} , et de la réduire en dehors de ce domaine. Il est remarquable que cette prévision concernant la distorsion de la distribution ne suppose aucune connaissance préliminaire de la valeur numérique ni du type de temps mort en question.

Par conséquent, un simple contrôle sur les signes des différences entre les valeurs théoriques et mesurées permet de savoir si le processus est perturbé ou non par un temps mort. Appliquons comme illustration ce résultat aux fameuses mesures de Rutherford et Geiger de 1910, où le nombre $F(k)$ d'observations de k scintillations provenant de particules alpha a été enregistré pour des intervalles de 7,5 s. Avec $\bar{k} = 3,872$, on obtient pour les valeurs « critiques » $k_{-} \approx 2,3$ et $k_{+} \approx 6,4$. Le tableau XII montre que la prévision des signes pour $F - G_0$ est correcte pour neuf cas sur dix (G_0 est la fréquence attendue). Or, un tel résultat ne se produit par hasard qu'avec une probabilité de 1,1 %. Il paraît donc justifié de considérer les différences observées comme systématiques et dues à l'influence d'un temps mort. De plus, celui-ci peut être évalué à $\tau = (0,05 \pm 0,03)$ s, qui semble raisonnable comme temps de résolution pour l'œil de l'observateur. En le reportant dans la formule pour la distribution modifiée $W_{\mu}(k)$, on obtient les valeurs $G_1(k)$ données dans le tableau. Cette fois, les signes des différences $F - G_1$ ne sont prévus correctement que dans cinq des onze cas, indiquant ainsi que les différences résiduelles sont aléatoires. En même temps, la quantité χ^2 est réduite de 12,9 à 10,0, ce qui correspond à une probabilité de 26 % (au lieu de 17 %). Il s'ensuit donc que ces mesures, souvent citées comme bel exemple d'une distribution de Poisson, ne suivent pas exactement cette loi. Pour plus de détails on se référera au Rapport BIPM-72/10.

TABLEAU XII

Mise en évidence d'une déformation due au temps mort
dans les mesures de Rutherford et Geiger
à l'aide d'une comparaison des signes des différences $F - G$

$F(k)$	$G_0(k)$ $= N \cdot P_{\bar{k}}(k)$	$G_1(k)$ $= N \cdot W_{\mu}(k)$	Signes des différences			
			observés par $F - G_0$	prévus	observés par $F - G_1$	
$k = 0$	57	54	50	+	—	+
1	203	210	201	—	—	+
2	383	407	403	—	—	—
k_-					
3	525	525	532	(zéro)	+	—
4	532	508	520	+	+	+
5	408	394	402	+	+	+
6	273	254	256	+	+	+
k_+					
7	139	141	138	—	—	+
8	45	68	64	—	—	—
9	27	29	26	—	—	+
≥ 10	16	17	24	—	—	+

$N = 2\ 608$

b) Séparation expérimentale entre impulsions individuelles et paires

Considérons un processus qui se compose d'impulsions arrivant individuellement et d'autres qui apparaissent sous forme de paires. Celles-ci pourraient être représentées par des événements du type mère-fille ou par des impulsions suivies d'événements secondaires. Parmi les méthodes habituelles permettant de distinguer entre ces deux types, les unes sont fondées sur les différences dans la répartition des intervalles entre impulsions successives (mesurées à l'aide d'un convertisseur temps-amplitude), tandis que les autres tirent profit des changements apportés au rapport variance/moyenne des comptages.

Il nous semble qu'une autre possibilité de distinguer les impulsions simples des impulsions doubles pourrait s'appuyer sur la parité de comptages répétés. Dans un intervalle de temps de durée t on enregistre k événements qui se composent de n_p paires et de n_s impulsions simples, d'où $k = 2n_p + n_s$. La probabilité d'observer exactement k événements est donc

$$W(k) = \sum_j P_p(j) \cdot P_s(k - 2j).$$

On peut montrer que si la série des événements originaux (sans impulsions secondaires) suit une loi de Poisson, les probabilités P_p et P_s obéissent à la même loi indépendamment de la répartition des intervalles à l'intérieur d'une paire d'impulsions mère-fille. En revanche, les valeurs moyennes seront en général fonction de cette distribution. Ainsi, pour une distribution

exponentielle (à intervalle moyen λ^{-1}) on trouve pour le nombre moyen de paires dans t

$$\mu_p = \varrho t \cdot \varepsilon_m \varepsilon_f \left[1 - \frac{1}{\lambda t} (1 - e^{-\lambda t}) \right],$$

et pour les impulsions simples

$$\mu_s = \varrho t \left\{ \varepsilon_m + \varepsilon_f - 2\varepsilon_m \varepsilon_f \left[1 - \frac{1}{\lambda t} (1 - e^{-\lambda t}) \right] \right\},$$

où ε_m et ε_f sont les efficacités pour détecter une impulsion du type mère ou fille. Pour $t \gg 1/\lambda$, les taux de comptage approchent toujours les valeurs limites simples

$$\varrho_p = \mu_p/t = \varrho \cdot \varepsilon_m \varepsilon_f$$

et

$$\varrho_s = \mu_s/t = \varrho(\varepsilon_m + \varepsilon_f - 2\varepsilon_m \varepsilon_f),$$

et l'on n'a plus besoin de connaître leur distribution exacte. Le corrélateur décrit antérieurement (Rapport BIPM-70/6) permet essentiellement de déterminer les probabilités de trouver un nombre pair ou impair d'événements en fonction du temps de mesure t . Or, puisque la parité de k ne dépend pas du nombre de paires, une telle détermination permet d'en déduire directement μ_s . Ainsi, pour un processus de Poisson, on a

$$\text{Probabilité } (k \text{ pair}) \equiv W(0|2) = \frac{1}{2} [1 + \exp(-2\varrho_s t)]$$

et

$$\text{Probabilité } (k \text{ impair}) \equiv W(1|2) = \frac{1}{2} [1 - \exp(-2\varrho_s t)].$$

D'autre part, un comptage direct donne comme taux expérimental

$$\varrho_{\text{exp}} = \varrho(\varepsilon_m + \varepsilon_f) = \varrho_s + 2\varrho_p.$$

Une différence réelle entre la valeur ϱ_s , déduite à l'aide du corrélateur, et ϱ_{exp} permet donc de déterminer le taux des impulsions doublées.

Remarquons finalement que cette méthode peut être étendue au cas d'impulsions secondaires d'ordre multiple. Dans le cas général, au moyen d'un simple dispositif électronique, on détermine par comptage direct les fréquences

$$\text{Fréquence } \{k = J \pmod{K}\} \equiv \Pi(J|K), \quad \text{avec} \quad 0 \leq J < K,$$

en fonction du temps de mesure t . D'autre part, pour un processus de Poisson, les probabilités correspondantes peuvent aussi être calculées et l'on trouve

$$\text{Probabilité } \{k = J \pmod{K}\} \equiv W(J|K) = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} x_k^{-J} \exp[\varrho t(x_k - 1)],$$

où les x_k sont les K racines de l'équation $x^K = 1$. La figure 16 montre

l'allure des probabilités W en fonction de la valeur moyenne $\mu = \rho t$ pour $K = 2$ et 3.

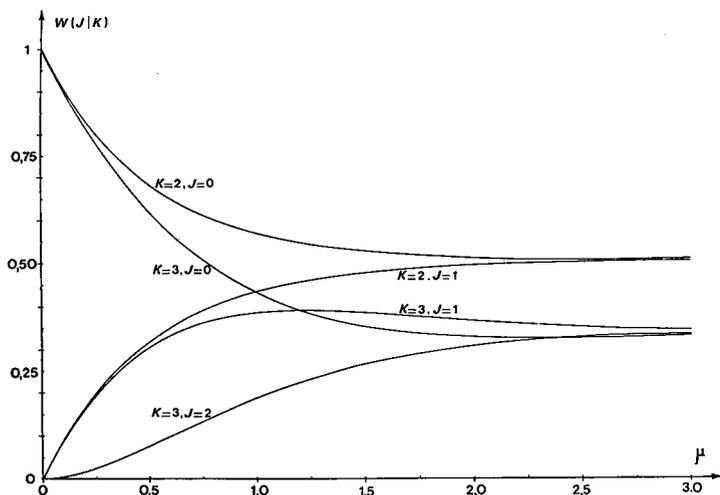


Fig. 16. — Distributions $W(J|K) = \text{Probabilité } [k = J \pmod{K}]$ pour $K = 2$ et 3 en fonction de la valeur moyenne $\mu = \rho t$.

Après avoir effectué une série de mesures pour des valeurs données de K et J , c'est de nouveau par comparaison des résultats Π avec la courbe théorique de W que l'on détermine la valeur effective de ρ qui donne le meilleur accord. Par un choix judicieux du taux de comptage expérimental, on évitera d'être trop gêné par notre ignorance de la répartition exacte des intervalles entre les impulsions multiples, sans pour autant se rapprocher trop des valeurs limites $1/K$ de W qui seraient dépourvues d'information utile concernant ρ .

Les fondements théoriques de cette nouvelle tentative sont décrits plus longuement dans les trois rapports BIPM-72/13, BIPM-72/14 et BIPM-73/5. Les résultats des mesures expérimentales, momentanément retardées par une amélioration importante du dispositif électronique, devraient bientôt nous permettre de mieux juger de l'intérêt pratique de cette méthode.

Spectrométrie alpha

On a pu effectuer deux séries de mesures de l'énergie absolue de particules α et nous attachons une importance particulière aux résultats obtenus. En outre, des calculs de la forme des raies et la rédaction d'un catalogue d'énergies α ont été entrepris.

Mesures absolues de l'énergie α du ^{148}Gd et du ^{210}Po

^{148}Gd . — Cette première mesure absolue de l'énergie α d'une terre rare a été rendue possible grâce à la générosité et à la compétence de Mr F. Asaro et Mme H. V. Michel du Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley (Californie), qui ont préparé et isolé cette substance peu courante.

L'échantillon de 73 μCi était d'une haute pureté et a permis la préparation de trois sources par évaporation sous vide. Les mesures effectuées à l'aide du spectrographe magnétique sont décrites en détail dans une note publiée dans les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences (*voir Publications extérieures*). La moyenne des 14 résultats et son écart-type sont :

$$E_{\alpha}(^{148}\text{Gd}) = (3\,182,787 \pm 0,024) \text{ keV.}$$

Tout le gadolinium récupérable a été restitué au Lawrence Berkeley Laboratory.

^{210}Po . — Cet émetteur α très connu et souvent utilisé est aussi le plus contaminant de tous. Pour cette raison, nous avons attendu que les mesures absolues principales fussent terminées.

Après de nombreux essais de préparation de sources fortes et propres suivant des méthodes différentes, on a constaté que l'évaporation sous vide du résidu d'une goutte de solution donne les meilleurs résultats. Ces expériences sont décrites dans une note publiée dans les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences (*voir Publications extérieures*).

A partir des 14 résultats obtenus avec quatre sources on a calculé l'énergie moyenne et son écart-type :

$$E_{\alpha}(^{210}\text{Po}) = (5\,304,51 \pm 0,07) \text{ keV,}$$

en excellent accord avec des résultats antérieurs.

Étude de la forme des raies

Le but principal de nos mesures étant la détermination de l'énergie maximale d'un groupe de particules α , notre spectrographe dans sa conception actuelle ne donne que peu d'informations sur la forme des raies. Néanmoins, il a semblé intéressant de comparer la forme calculée à celle que l'on observe expérimentalement. Le calcul de la forme a été effectué avec beaucoup de soin et vérifié dans ses moindres détails à l'aide d'une simulation sur ordinateur par la méthode de Monte Carlo.

La forme expérimentale a été déterminée pour deux émetteurs qui paraissent particulièrement intéressants, le ^{210}Po et le ^{241}Am . Ce dernier semble bien adapté à la préparation de sources minces et uniformes suivant le procédé mis au point par G. C. Lowenthal (Australian Atomic Energy Commission, Sydney) qui a préparé à notre intention trois sources dont deux ont pu être mesurées. L'énergie trouvée en 1970 pour le ^{241}Am a été confirmée exactement. La forme de la raie s'écarte peu de la forme calculée, tandis que celle du ^{210}Po est beaucoup plus aplatie. Ce ne sont que deux résultats préliminaires, mais ils indiquent que des expériences ultérieures seraient hautement souhaitables.

Catalogue de valeurs recommandées d'énergies et d'intensités alpha

La compilation présentée l'an dernier (Rapport BIPM-72/4) a été élargie et complétée selon les suggestions formulées à la 1^{re} réunion (mars 1972) de la Section IV du C.C.E.M.R.I. On y a inclus tous les émetteurs α dont l'énergie est connue avec une incertitude de 5 keV au plus et toutes les raies ayant une intensité relative d'au moins 5 %. Les énergies ont été ajustées selon les valeurs récentes des étalons utilisés par les divers

auteurs. Les moyennes pondérées représentent un ensemble cohérent de valeurs d'énergie recommandées.

Les résultats de cette compilation seront publiés dans *Atomic Data and Nuclear Data Tables*.

Mesures neutroniques (V. D. Huynh)

Étude des sphères modératrices avec compteur à trifluorure de bore

En vue d'une comparaison internationale de mesures de débits de fluence de neutrons rapides monocinétiques, on a proposé à la 1^{re} réunion (avril 1972) de la Section III du C.C.E.M.R.I. d'étudier d'une façon plus approfondie quelques types de détecteurs qui serviront éventuellement comme instruments de transfert. Le B.I.P.M. fut chargé d'effectuer des études sur un détecteur constitué par une sphère de polyéthylène au centre de laquelle est placé un compteur à BF_3 .

Ce type de détecteur présente plusieurs avantages :

- a) l'efficacité de détection est relativement élevée (quelques 10^{-4} à 10^{-3});
- b) il est peu sensible aux rayonnements γ ;
- c) le centre effectif du détecteur est confondu avec le centre géométrique de la sphère;
- d) la réponse du détecteur est relativement indépendante de la dispersion en énergie d'un faisceau de neutrons monocinétiques.

Conditions expérimentales

1. *Source de neutrons et détecteurs de normalisation.* — Nous nous intéressons uniquement aux neutrons produits par la réaction $\text{D}(d, n)^3\text{He}$. Nous travaillons avec une énergie incidente de deutons de 140 keV et un courant cible de 100 μA .

Le taux d'émission de la source de neutrons est de $1,6 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$. L'énergie des neutrons est 2,58 MeV. La normalisation des débits de fluence de neutrons s'effectue soit par la jonction (comptage des protons), soit par le plastique scintillant (comptage des neutrons). La figure 17 montre la disposition géométrique des détecteurs.

2. *Sphère de polyéthylène avec compteur à BF_3 .* — Nous disposons de deux sphères de polyéthylène (de fabrications différentes) dont les diamètres sont respectivement de 25,4 cm et de 20 cm. Pour pouvoir utiliser différents compteurs avec une même sphère, un canal diamétral cylindrique a été percé dans la sphère et chaque compteur est mis dans un fourreau de polyéthylène que l'on glisse dans la sphère, ce qui permet de faire coïncider le centre de la sphère avec celui de la partie active du compteur (*fig.* 18).

Trois compteurs à BF_3 ont été étudiés : deux sont de fabrication française (Le Matériel Téléphonique (LMT)), le troisième est de fabrication anglaise (20th Century). Les deux compteurs LMT sont du même type, mais l'un a un connecteur monté sur le compteur par le fabricant (0,2 NE 3/1 F) et l'autre est sans connecteur (0,2 NE 3/1); le diamètre des compteurs est de 10 mm et la longueur utile de 30 mm. Les caractéristiques électriques sont les suivantes : palier 200 V, pente 3,8 % par 100 V, tension appliquée 1 900 V.

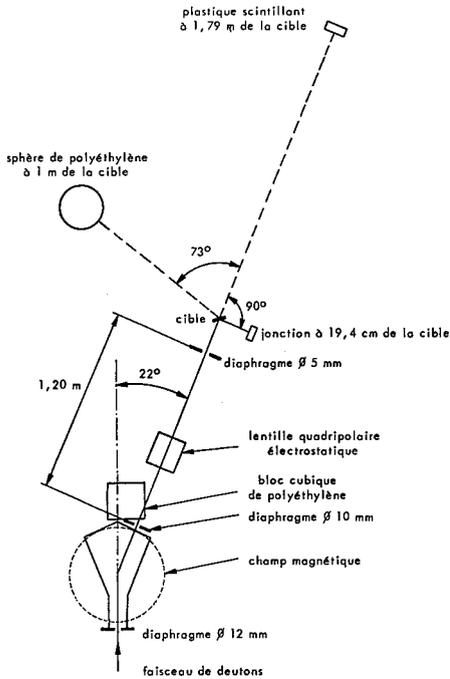


Fig. 17. — Disposition géométrique des détecteurs pour l'étude des sphères modératrices avec compteur à BF_3 .

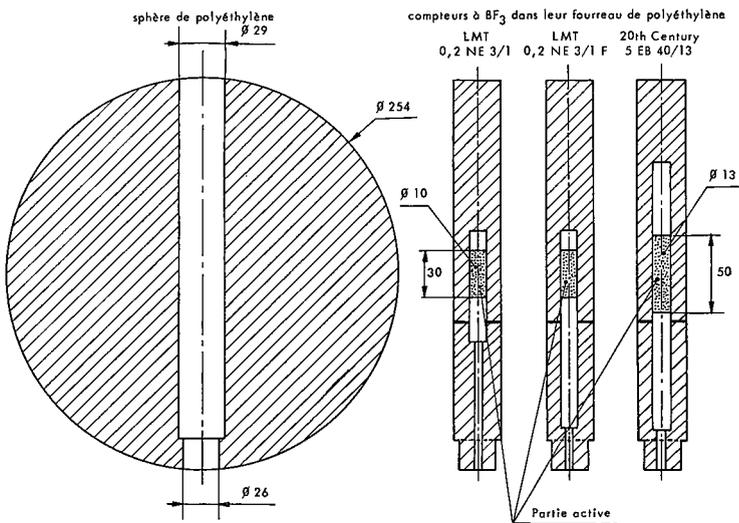


Fig. 18. — Sphère de polyéthylène avec compteurs à BF_3 (cotes en millimètres).

Le compteur 20th Century est du type 5 EB 40/13; ses caractéristiques sont : diamètre 13 mm, longueur utile 50 mm, palier 200 V, pente 1,7 % par 100 V, tension appliquée 1 100 V.

Résultats expérimentaux pour la sphère de 25,4 cm

1. *Taux de comptage et sensibilité.* — Les mesures ont été effectuées pour une distance de 1 m entre le détecteur (sphère et compteur) et la cible. Les résultats sont donnés dans le tableau XIII.

2. *Centre effectif du détecteur.* — Le centre effectif du détecteur est bien le centre géométrique de la sphère. En effet, la loi de l'inverse du carré de la distance est bien vérifiée expérimentalement comme le montrent les résultats du tableau XIV (A, B, C).

3. *Isotropie de la réponse du détecteur.* — Dans la position normale de fonctionnement, l'axe du compteur à BF_3 est perpendiculaire au plan horizontal détecteur-cible; si l'on fait tourner la sphère autour de son axe vertical, la réponse du détecteur reste constante quelle que soit sa position.

D'autre part, nous avons comparé les taux de comptage pour l'axe du compteur orienté à 0° (compteur horizontal) et à 90° (compteur vertical) par rapport à la direction du faisceau de neutrons. Aux erreurs expérimentales près, nous avons trouvé que ce rapport est égal à 1 pour les deux compteurs LMT et à 1,032 pour le compteur 20th Century. Le tableau XV donne les résultats de ces mesures.

4. *Reproductibilité et stabilité à long terme.* — La reproductibilité après démontage et remontage du détecteur est $\approx 1\%$. En ce qui concerne la stabilité à long terme, le tableau XVI donne les résultats des deux séries de mesures effectuées avec les compteurs N° 20030 et 20th Century placés à 1 m de la cible.

Pour chaque compteur, on constate que dans chaque série la reproductibilité à long terme du comptage BF_3 est de $\pm 1\%$.

5. *Reproductibilité du comptage avec différentes chaînes électroniques.* — Nous disposons de trois chaînes électroniques que nous désignons comme suit :

1^{re} chaîne : la chaîne habituellement utilisée pour le compteur à BF_3 , constituée d'un préamplificateur de charges (N° 1) et d'un amplificateur (N° 1) construits au B.I.P.M.;

2^e chaîne : la chaîne habituellement utilisée pour la jonction, constituée d'un préamplificateur Ortec 113 et d'un amplificateur Ortec 435 A;

3^e chaîne : la chaîne constituée d'un préamplificateur du type CEA, modèle PBF 10, et de l'amplificateur de la 1^{re} chaîne.

Pour ces trois chaînes les bruits de fond sont respectivement de 100 mV, 50 mV et 400 mV, les gains de fonctionnement étant réglés sensiblement à la même valeur.

Les mesures ont été effectuées avec le compteur N° 20030, placé à 1 m de la cible; les résultats ne montrent aucune différence significative entre les comptages des trois chaînes.

TABLEAU XIII

Réponse des différents compteurs associés à la sphère de 25,4 cm

Compteur	Taux de comptage (en s ⁻¹)	Sensibilité (en coups/s) pour 1 neutron/(cm ² .s)
N° 20030 (0,2 NE 3/1 F)	16	0,153
N° 20034 (0,2 NE 3/1)	16	0,153
20th Century (5 EB 40/13)	25	0,242

TABLEAU XIV

Sphère de 25,4 cm

d : distance entre le compteur à BF₃ et la cible.

*N*₀ : comptage (BF₃) corrigé pour les neutrons diffusés et rapporté au comptage par le plastique scintillant.

*f*_n : contribution des neutrons diffusés.

	<i>d</i>	<i>N</i> ₀	<i>N</i> ₀ . <i>d</i> ²	<i>f</i> _n
A) <u>Compteur</u> <u>N° 20030</u>	45,7 cm	76,3 x 10 ⁻²	1594	1,5 %
	55,0	52,7	1594	2,1
	70	32,7	1602	3,4
	100	16,08	1608	6,7
	138	8,32	1585	11,0
	197,5	4,07	1587	21,0
B) <u>Compteur</u> <u>N° 20034</u>	45,9	77,5	1633	1,4
	50	64,4	1610	1,7
	55,1	53,1	1613	2,0
	70	33,1	1622	3,5
	100	16,00	1600	6,5
	137,7	8,58	1627	11,0
197,5	4,15	1619	21,0	
C) <u>Compteur</u> <u>20th Century</u>	55	83,1	2514	2,0
	70	51,7	2534	3,5
	100	25,5	2553	6,1
	138	13,42	2556	12,6
	197,8	6,51	2547	22,0

TABLEAU XV

Isotropie de la réponse

des différents compteurs associés à la sphère de 25,4 cm

*N*_n : comptage par le compteur à BF₃ à 1 m, rapporté au comptage par le plastique scintillant, mais non corrigé pour la contribution des neutrons diffusés.

Compteur	<i>N</i> _n (0°)	<i>N</i> _n (90°)
N° 20030	17,26 x 10 ⁻²	17,13 x 10 ⁻²
N° 20034	17,00	17,02
20th Century	28,20	27,30

TABLEAU XVI

Stabilité à long terme des compteurs associés à la sphère de 25,4 cm

N_n et N_H sont les comptages (BF_3) rapportés respectivement au comptage des neutrons par le plastique scintillant et au comptage des protons par la jonction.

Compteur N° 20030				Compteur 20th Century			
1 ^{re} série		2 ^e série		1 ^{re} série		2 ^e série	
Date 1972	N_n ($\times 10^{-2}$)	Date 1973	N_H ($\times 10^{-2}$)	Date 1972	N_n ($\times 10^{-2}$)	Date 1973	N_H ($\times 10^{-2}$)
21 sept.	17,07	28 fév.	5,01	30 oct.	27,22	13 mars	7,92
22 "	17,14	1 mars	4,97	30 "	27,34	14 "	7,95
26 "	17,23	1 "	5,01	3 nov.	27,33	14 "	7,94
29 "	17,15	6 "	5,00	8 "	26,93	16 "	8,04
16 oct.	17,22	6 "	5,00			21 "	7,85
3 nov.	17,06	3 avr.	5,08	Moyenne	27,21	21 "	7,82
21 "	17,04	3 "	5,07			22 "	7,84
		4 "	5,10			22 "	7,97
Moyenne	17,13	4 "	5,00			23 "	7,91
		5 "	5,02			23 "	7,94
		5 "	5,04				
		6 "	5,06			Moyenne	7,92
		6 "	5,02				
		10 mai	4,89				
		10 "	4,93				
		11 "	4,90				
		11 "	4,94				
		Moyenne	5,00				

6. *Sensibilité aux rayonnements γ .* — Les deux compteurs LMT ont été exposés au rayonnement de la source de ^{60}Co (275 Ci) du B.I.P.M. Le comptage (au seuil de discrimination choisi) est nul pour un débit d'exposition allant jusqu'à 200 R/h.

7. *Importance de la contribution des neutrons diffusés.* — Dans nos conditions expérimentales (fig. 17), il se forme une source secondaire de neutrons située principalement à l'endroit où se trouve le diaphragme qui arrête le faisceau moléculaire de deutons incidents à la sortie du champ magnétique. En utilisant une cible neuve d'aluminium à la place de la cible habituelle de titane deutéré, nous avons estimé une contribution d'environ 3 % de neutrons provenant de la source secondaire. Afin de réduire l'importance de cette source, nous avons placé un bloc cubique de polyéthylène (11 cm de côté) derrière la boîte à vide du champ magnétique entre le point d'impact du faisceau moléculaire de deutons et le compteur à BF_3 ; nous avons ensuite redéterminé la contribution des neutrons diffusés, f_n , par la loi de l'inverse du carré de la distance qui est très bien vérifiée expérimentalement. Le tableau XVII donne les résultats obtenus avec le compteur N° 20030.

D'autre part, avec le bloc cubique de polyéthylène en place, les mesures effectuées avec une barre d'ombre (cône de polyéthylène de 40 cm de longueur) montrent que la contribution des neutrons parasites est réduite d'environ 2 %, c'est-à-dire qu'elle est de 8,9 % au lieu de 11 % (sphère à 1 m).

Notons que la contribution de la source secondaire était déjà de 3 % en décembre 1972; il semble donc qu'actuellement la source secondaire ait atteint la saturation.

Remarque. On voit d'après le tableau XVII que la contribution des neutrons diffusés (5,8 % à 1 m) déterminée par la loi de l'inverse du carré de la distance est en désaccord avec la valeur obtenue par la mesure avec la barre d'ombre (8,9 % à 1 m). Il nous semble qu'on puisse expliquer qualitativement cet écart par l'addition des deux effets suivants :

a) Une contribution supplémentaire des neutrons diffusés a été créée par la présence de la barre d'ombre. En effet, une mesure faite avec une barre d'ombre de 46 cm de longueur a montré, par rapport à une barre de 40 cm, une augmentation de 0,4 % de neutrons diffusés.

b) Les neutrons diffusés ont principalement deux origines : ceux qui sont diffusés par la cible (support en cuivre de 1 mm d'épaisseur et de 49 mm de diamètre) et ceux qui ne proviennent pas de la cible (neutrons diffusés ambiants).

Lorsqu'il n'y a pas de barre d'ombre, seuls les neutrons diffusés ambiants interviennent, car pour les neutrons diffusés provenant de la cible il y a compensation entre les neutrons émis initialement en dehors de l'angle de détection puis diffusés vers la sphère, et ceux qui sont émis initialement dans l'angle de détection puis diffusés en dehors de cet angle. En effet, les mesures faites avec les cibles ayant 1 mm et 2 mm d'épaisseur de Cu comme support montrent qu'il n'y a pas de différence de comptage avec le compteur à BF_3 .

Avec une barre d'ombre entre la cible et la sphère il existe en revanche, en plus de la contribution des neutrons diffusés ambiants (contribution

TABLEAU XVII

*Contribution des neutrons diffusés
pour le compteur N° 20030 associé à la sphère de 25,4 cm*

(Les notations sont les mêmes qu'au tableau XIV)

d	N_0	$N_0 \cdot d^2$	f_n
45,5 cm	$78,82 \times 10^{-2}$	1632	1,3 ‰
55	53,64	1623	1,8
70	33,32	1633	2,9
100	16,27	1627	5,8
138	8,59	1636	10,5
197,5	4,20	1638	19,3

TABLEAU XVIII

Isotropie de la réponse des compteurs associés à la sphère de 20 cm

(N_n : voir tableau XV)

Compteur N° 20030 (à 1 m)			Compteur 20th Century (à 1 m)		
Date 1972	$N_n(0^\circ)$	$N_n(90^\circ)$	Date 1972	$N_n(0^\circ)$	$N_n(90^\circ)$
14 nov.	$17,47 \times 10^{-2}$		9 nov.	$29,61 \times 10^{-2}$	
15 "	17,46		9 "		$28,89 \times 10^{-2}$
15 "		$17,52 \times 10^{-2}$	10 "	29,21	
16 "		17,69	10 "		28,54
			13 "		28,65
Moyenne	17,46	17,60	Moyenne	29,41	28,70

TABLEAU XIX

Compteur N° 20030 associé à la sphère de 20 cm

(Les notations sont les mêmes qu'au tableau XIV)

d	N_0	$N_0 \cdot d^2$	f_n
55 cm	$54,00 \times 10^{-2}$	1634	2,0 ‰
70	32,96	1615	3,5
100	16,48	1648	8,0
138	8,58	1634	14,0
197,5	4,26	1662	25,0

déterminée par la loi de l'inverse du carré de la distance), des neutrons diffusés par la partie périphérique de la cible vers la sphère. En effet, lorsque la barre d'ombre est en place, la contribution des neutrons diffusés mesurée avec la cible ayant 2 mm de Cu est de 0,4 % plus élevée que pour la cible ayant 1 mm de Cu.

Résultats expérimentaux pour la sphère de 20 cm

Les résultats sont résumés dans les tableaux XVIII et XIX. A partir de ces tableaux, et en les comparant aux tableaux XIV et XV, on peut faire les observations suivantes :

— lorsque l'axe du compteur est orienté à 0° au lieu de 90° par rapport à la direction du faisceau de neutrons, le taux de comptage est modifié dans le rapport 0,992 pour le compteur N° 20030 et 1,025 pour le compteur 20th Century;

— les rapports des taux de comptage pour la sphère de 20 cm et pour la sphère de 25,4 cm sont respectivement de 1,03 pour le compteur N° 20030 et de 1,05 pour le compteur 20th Century;

— comme pour la sphère de 25,4 cm, la loi de l'inverse du carré de la distance est bien vérifiée; le centre effectif du détecteur est donc bien confondu avec le centre géométrique de la sphère;

— la fraction de neutrons diffusés (à 1 m) est 1,3 % plus élevée pour la sphère de 20 cm que pour la sphère de 25,4 cm.

Conclusion

En résumé, cette étude sur les sphères modératrices avec compteur à BF₃ montre que :

— avec un faisceau de $1,6 \times 10^7$ neutrons \cdot s⁻¹, pour une distance de 1 m et une durée de mesure de 2 h, l'erreur statistique est de 0,3 %;

— la reproductibilité des mesures à long terme est de ± 1 %;

— le centre effectif du détecteur est confondu avec le centre géométrique de la sphère;

— la réponse du détecteur est isotrope;

— le détecteur est pratiquement insensible aux rayonnements γ ;

— le principal inconvénient est la contribution relativement importante des neutrons diffusés (≈ 6 % à 1 m); cela exige une détermination très précise de cette contribution.

En conclusion, il semble donc que pour les énergies voisines de 2,5 MeV, ce type de détecteur convienne bien pour être utilisé comme instrument de transfert pour la comparaison internationale de mesures de débits de fluence de neutrons.

Publications

Publications du B.I.P.M. (H. Moreau)

Depuis octobre 1972 ont été publiés :

1° *Comité Consultatif de Photométrie*, 7^e session (1971), avec 14 Annexes dont le Rapport sur la 5^e comparaison (1969) des étalons nationaux d'intensité et de flux lumineux.

2° *Comité Consultatif de Thermométrie*, 9^e session (1971), avec 59 Annexes dont une grande partie sont les résumés des communications présentées au « 5th Symposium on Temperature Measurement » (Washington, 1971).

3° *Le Système International d'Unités (SI)*, 2^e édition, 1973.

4° *Procès-verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures*, tome 40 (61^e session, octobre 1972).

5° *Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde*, 6^e session (1972), avec 16 Annexes.

6° *Recueil de Travaux du Bureau International des Poids et Mesures*, volume 3 (1971-1972).

Publications extérieures

ALLISY (A.), Grandeurs dosimétriques et unités correspondantes; grandeurs dosimétriques stochastiques; relations entre ces grandeurs; grandeurs dosimétriques en radioprotection. (Séminaire de dosimétrie, Société Française de Radioprotection, I.N.S.T.N., Saclay, 11-13 Octobre 1972).

ALLISY (A.), Some comparisons organized by the International Bureau of Weights and Measures. In « Proc. of a Panel organized by the International Atomic Energy Agency and the World Health Organization » (Vienna, 13-17 December 1971), I.A.E.A., Vienna, 1973.

AUDOIN (C.), HARTMANN (F.), GIACOMO (P.), Amélioration de la précision de mesure de la vitesse de la lumière. *Bulletin d'Information du B.N.M.*, 4, N° 11, 1973, pp. 4-8.

MENACHÉ (M.) et GIRARD (G.), Concerning the different tables of the thermal expansion of water between 0 and 40 °C. *Metrologia*, 9, 1973, pp. 62-68.

GORMAN (D. J.), MICHEL (H. V.), ASARO (F.) et RYTZ (A.), Mesure absolue de l'énergie α du ¹⁴⁸Gd. *C.R. Acad. Sci.*, 276-B, 1973, pp. 669-671.

GORMAN (D. J.) et RYTZ (A.), Nouvelle détermination absolue de l'énergie α du ²¹⁰Po. *C.R. Acad. Sci.*, 277-B, 1973, pp. 29-31.

MÜLLER (J. W.), Dead-time problems, *Nucl. Instr. Meth.*, 112, 1973, pp. 47-57.

RYTZ (A.), Alpha-particle energy standards, *Nucl. Instr. Meth.*, 112, 1973, pp. 261-264.

FINNEGAN (T. F.), WITT (T. J.), FIELD (B. F.) and TOOTS (J.), Measurements of $2e/h$ via the a.c. Josephson effect. In « Proc. of the Fourth Internat. Conf. on Atomic Masses and Fundamental Constants » (Sept. 1971), Plenum Press, London-New York, 1972, pp. 403-409.

Rapports internes

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

— Étalons d'énergie alpha. Rapport d'activité 1966-1972, propositions de travaux futurs, par A. Rytz (publié dans *C.C.E.M.R.I.*, Section IV, 1^{re} réunion, 1972, Annexe R(IV) 1).

- Statistique de comptage d'événements aléatoires, par J. W. Müller (Rapport BIPM-72/12, novembre 1972, 6 pages).
- Some notes on pair statistics, par J.W. Müller (Rapport BIPM-72/13, décembre 1972, 12 pages)*.
- A new method for distinguishing between pairs and single pulses, par J. W. Müller (Rapport BIPM-72/14, décembre 1972, 10 pages)*.
- Rapport sur la distribution d'étalons de radioactivité, par A. Rytz.
- Principes de la méthode des coïncidences : liste des rapports distribués au Groupe de travail, par J. W. Müller. (Ces deux derniers rapports sont publiés dans *C.C.E.M.R.I.*, Section II, 2^e réunion, 1972, Annexes R(II) 2 et R(II) 3).
- Remarques sur la réalisation des unités électriques (déterminations absolues) d'après deux modes différents de définition, par J. Terrien (Rapport BIPM-73/1, janvier 1973, 3 pages).
- Profil spectral de la radiation étalon du krypton et mesures au Perot-Fabry, par P. Giacomo (Rapports BIPM-73/2 et BIPM-73/3, janvier et mars 1973, 14 pages)*.
- Une nouvelle manière de calculer les pertes de comptage dues à un temps mort non cumulatif, par J.W. Müller (Rapport BIPM-73/4, avril 1973, 5 pages).
- A complex modulo K counter, par J. W. Müller (Rapport BIPM-73/5, mai 1973, 16 pages)*.
- Étude des sphères modératrices avec compteur à trifluorure de bore, par V.D. Huynh (Rapport BIPM-73/6, juin 1973, 11 pages).
- Intercomparison of small mass metrology, by H. Moret, J. Brulmans and A. Rytz (Rapport BIPM-73/7); (traduction française publiée dans *C.C.E.M.R.I.*, Section II, 2^e réunion, 1972, Annexe R(II) 4).
- Compte rendu des résultats de la petite comparaison d'une solution de ⁵⁴Mn de juin 1972, par A. Rytz (Rapport BIPM-73/8, juillet 1973, 4 pages).
- Traitement statistique des résultats de mesure (*suite*). Exposés faits au B.I.P.M. par J. W. Müller, notes prises et rédigées par P. Carré (Rapport BIPM-108, 170 pages, 32 pages d'exercices, à suivre).
- Sur l'arrangement en série de deux temps morts de types différents, par J. W. Müller (Rapport BIPM-73/9, juillet 1973, 8 pages).

* Ce rapport sera publié dans le *Recueil de Travaux du B.I.P.M.*, volume 4.

Certificats et Notes d'étude

Du 1^{er} octobre 1972 au 30 septembre 1973, 39 Certificats et 2 Notes d'étude ont été délivrés.

CERTIFICATS

1972

- | | | |
|-----|--|---|
| N° | | |
| 26. | Règle de 1 m N° 887 en acier | Gouvernement de la République d'Argentine. |
| 27. | Etalon de 1 Ω N° 078567 | Urad Pro Normalizaci, Prague, Tchécoslovaquie. |
| 28. | Etalon de 1 Ω N° 078564 (addition) | Id. |
| 29. | Thermomètre à résistance de platine N° 203376 | National Physical Research Laboratory, Pretoria, Afrique du Sud. |
| 30. | Calibre de 1 m en acier | Bureau Fédéral des Poids et Mesures, Berne, Suisse. |
| 31. | Six étalons de force électromotrice N°s 1279 à 1284 | National Physical Laboratory of India, New-Delhi, Inde. |
| 32. | Quatre thermomètres Prolabo N°s 312, 314, 315 et 316 | Société Genevoise d'Instruments de Physique, Genève, Suisse. |
| 33. | Dix étalons de force électromotrice N°s 47997, 48003, 48006, 48008, 48021, 48025, 48032, 48034, 48036, 48038 | Comité de la Qualité, de la Standardisation et de la Métrologie, Sofia, Bulgarie. |
| 34. | Six étalons de force électromotrice N°s 1489 à 1494 | Institut de Recherche de la Défense Nationale, Stockholm, Suède. |
| 35. | Six calibres de 5, 15, 25, 50, 75, 100 mm en acier | Bureau Fédéral des Poids et Mesures, Berne, Suisse. |

1973

- | | | |
|----|---|---|
| 1. | Deux étalons de 1 Ω N°s L307009 et L307013 | National Physical Laboratory of India, New-Delhi, Inde. |
| 2. | Etalon de 1 Ω N° 076129 | Office National des Mesures, Budapest, Hongrie. |
| 3. | Kilogramme en Nicral D N° 70 (addition) .. | Pakistan. |
| 4. | Kilogramme en Nicral D N° 71 | Institute of Standards and Industrial Research, Iran. |
| 5. | Kilogramme en Nicral D N° 72 | Ministère de l'Economie Nationale, Athènes, Grèce. |
| 6. | Règle de 700 mm N° 504 en acier (addition) | Société Hauser, Bienne, Suisse. |
| 7. | Trois étalons secondaires d'intensité lumineuse (Tc 2859 K) LCIE N° 1, D, Mazda 125 | Union Technique de l'Automobile, du Motocycle et du Cycle, Linas-Montlhéry, France. |
| 8. | Quatre étalons secondaires de flux lumineux (Tc 2793 K) N°s 2, 10, 20, 21F . | Id. |

1973 (suite)

N°		
9.	Deux fils de 24 m N ^{os} 8512 et 1321 (addition)	Société Française de Stéréotopographie, Paris, France.
10.	Kilogramme prototype N° 53 (addition)	Pays-Bas.
11.	Kilogramme prototype N° 37 (addition)	Belgique.
12.	Kilogramme prototype N° 50 (addition)	Canada.
13.	Règle de 1 m N° 333 en invar	Laboratoire National d'Essais, Paris, France.
14.	Thermomètre à résistance de platine N° 221433	Laboratoire d'Océanographie Physique de l'Université de Paris VI, Paris, France.
15.	Kilogramme É69 en Immaculate V	Irlande.
16.	Série de masses É2 de 10 kg à 1 mg	Id.
17.	Quatre étalons de 1 Ω N ^{os} 123BZ13, 130BZ13, 135BZ13 et 203BZ13	Institut National de Métrologie, Pékin. Chine.
18.	Six étalons de force électromotrice N ^{os} 1 à 6	Id.
19.	Etalon de 1 Ω N° 1755130	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Vienne, Autriche.
20.	Quatre étalons de force électromotrice N ^{os} N5615, J8315, J8744 et J9010	Office National des Mesures, Budapest, Hongrie.
21.	Quatre étalons de force électromotrice N ^{os} 1 à 4 (addition)	Société de Produits Industriels, I.T.T., Annecy, France.
22.	Trois fils géodésiques de 35 m N ^{os} 10943, 10944, 10945 (addition)	Société Française de Stéréotopographie, Paris, France.
23.	Six étalons de force électromotrice N ^{os} 2722 à 2727 (addition)	Centre OTAN d'approvisionnement, Capellen, Luxembourg.
24.	Etalon de 1 Ω N° 1758744 (addition)	Id.
25.	Etalon de 10 000 Ω N° 851015 (addition) ..	Service de la Métrologie des Pays-Bas, 's-Gravenhage, Pays-Bas.
26.	Etalon de 10 000 Ω N° 851036 (addition) ..	Id.
27.	Trois étalons de 1 Ω N ^{os} 1753639, 1753641 et 1756653 (addition)	Id.
28.	Six étalons de force électromotrice N ^{os} 66087, 66091, 66124, 66132, 67045, 67049 (addition)	Id.
29.	Quatre étalons de force électromotrice N ^{os} 35403, 35405, 35633, 35668 (addition)	Id.

NOTES D'ÉTUDE

1973

1.	Règle de 1 m en invar	High Commission of India, Londres, Grande-Bretagne.
2.	Règle de 1 m N° 333 en invar	Laboratoire National d'Essais, Paris, France.

IV. — ACTIVITÉS ET RELATIONS EXTÉRIEURES

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

Le B.I.P.M. a publié en février 1973 la 2^e édition de la brochure « Le Système International d'Unités (SI) », édition amendée et mise à jour à la suite des décisions de la 14^e Conférence Générale des Poids et Mesures (1971).

L'adoption du système métrique (SI) par de nombreux pays qui employaient jusqu'ici les mesures anglo-saxonnes a conduit le B.I.P.M. à fournir, soit par correspondance, soit lors de visites, des renseignements divers sur les unités et sur ses activités. Plusieurs pays se sont en outre informés des conditions d'adhésion à la Convention du Mètre.

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

— Participation effective ou par correspondance aux travaux de terminologie et de normalisation dans le domaine des unités de mesure de plusieurs organisations internationales et françaises : Commission Électrotechnique Internationale, Organisation Internationale de Normalisation (ISO/TC 12), Association Française de Normalisation, Comité Électrotechnique Français, Comité National Français de l'Éclairage, etc.

— Participation aux travaux de l'Association « Common-Europe » dont le rôle est de promouvoir l'échange bénévole de programmes pour petits ordinateurs IBM.

— Participation de plusieurs membres du personnel (J. Terrien, P. Giacomo, A. Allisy, G. Leclerc, J. Bonhoure) aux réunions de Groupes de travail du Bureau National de Métrologie français.

Du 14 au 16 novembre 1972, réunion au Pavillon de Breteuil du Comité « Quantities and Units » de l'I.C.R.U. avec la participation de A. Allisy.

— Participation de G. Leclerc et T. Witt à la réunion tenue au B.I.P.M. le 9 octobre 1972 par MM. P. O. Lundbom, H. M. Altschuler, H. Bayer et A. E. Bailey (respectivement président et membres de la Commission I de l'U.R.S.I.).

Les 27 et 28 septembre 1973, réunion au Pavillon de Breteuil de la Commission « Symboles, Unités, Nomenclature » de l'Union Internationale de Physique Pure et Appliquée.

Voyages, Visites, Conférences, Exposés du personnel

Dans ce 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 B.I.P.M. a effectué les voyages suivants :

— du 2 au 6 avril 1973, avec P. Giacomo, au N.P.L. (Teddington), à l'occasion de la Conférence de Métrologie de l'Europe de l'Ouest. Ils ont pu visiter plusieurs laboratoires et discuter sur plusieurs sujets d'actualité, en particulier avec W. R. C. Rowley de la dissymétrie de la radiation étalon du krypton.

— du 16 août au 8 septembre 1973 :

à Honolulu pour visiter le Geophysical Institute of the University of Hawaiï, s'entretenir avec son directeur Mr G. P. Woollard et avec le Prof. Rose sur des sujets de gravimétrie;

à Sydney pour assister à la 15^e Assemblée Générale de l'Union Astronomique Internationale et participer en particulier aux travaux des Commissions 4 (Éphémérides), 14 (Données spectroscopiques fondamentales) et 31 (Heure); il a pu s'entretenir longuement avec Mr F. J. Lehany, visiter le National Standards Laboratory, discuter avec ses chefs de service, visiter le centre de « Metrication » dirigé par Mr Harper, et l'administration centrale du C.S.I.R.O. à Canberra;

à Tokyo pour visiter le National Research Laboratory of Metrology et l'Electrotechnical Laboratory, s'entretenir avec leurs directeurs et leurs principaux chefs de service, en particulier Mr Y. Sakurai; il a rencontré aussi Mr Y. Tomonaga.

P. Giacomo a participé au colloque « Spectroscopie sans largeur Doppler des molécules simples », à Aussois (France)⁺⁺ du 21 au 25 mai 1973. Il a ensuite participé au Congrès de la Société Française de Physique à Vittel (France), du 28 mai au 2 juin 1973, où il a présenté une conférence sur « Physique atomique et métrologie ».

A. Allisy a participé à Washington⁺⁺, du 9 au 14 septembre 1973, au « Third International Congress of the International Radiation Protection Association » où il a fait une conférence sur l'emploi des unités SI dans le domaine des rayonnements ionisants.

J. Bonheure s'est rendu à Varna (Bulgarie) du 24 au 30 juin 1973; il a participé à la réunion du Comité TC 1.2 « Photométrie et Radiométrie » de la Commission Internationale de l'Éclairage, puis assisté à la Conférence sur la Photométrie et la Colorimétrie organisée par le Comité Bulgare de l'Éclairage.

Il s'est ensuite rendu en Amérique du Nord où, du 9 au 16 juillet, il a visité les sections de Thermométrie du N.R.C. et du N.B.S.

J. W. Müller s'est rendu à Lausanne⁺⁺ du 30 avril au 5 mai 1973, sur l'invitation de l'Institut d'Électrochimie et de Radiochimie de l'École Polytechnique Fédérale, où il a donné, le 3 mai, une conférence sur « Problèmes de comptage dans les mesures de radioactivité ». Des contacts intéressants ont pu être établis avec les membres du Département des Mathématiques.

G. Girard s'est rendu les 30 et 31 octobre 1972 à l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (Vienne) pour s'informer de questions relatives au SMOW (« Standard Mean Ocean Water »).

Du 21 au 25 août 1973, il a participé à Munich aux réunions de la Commission I.4 (Physicochemical Measurements and Standards) et assisté à celles de la Sous-Commission I.4.1 (Calibration and Test Materials) de l'U.I.C.P.A.; la question de la masse volumique et du coefficient de dilatation de l'eau était à l'ordre du jour de ces réunions.

A. Sakuma s'est rendu à l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti (Turin)⁺ du 25 au 26 janvier 1973 et du 15 au 16 juin 1973 pour l'établissement d'un

projet concernant la gravimétrie, pour la mise au point du manobaromètre et pour l'inauguration de cet Institut.

Il a d'autre part donné les conférences suivantes :

— le 31 janvier 1973 au Bureau des Longitudes (Paris) : « Nouvelle station de marées gravimétriques au B.I.P.M. ».

— le 7 février 1973 au Centre d'Études Nucléaires (Saclay) et le 3 avril 1973 à l'École Normale Supérieure (Paris) : « État actuel de la gravimétrie absolue et ses applications ».

J. Hostache s'est rendu en décembre 1972 à l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti (Turin) pour procéder à la fin du montage et aux premiers essais du gravimètre absolu transportable réalisé en collaboration avec le B.I.P.M.

Dans le cadre de l'information du personnel du B.I.P.M., les exposés suivants ont été présentés :

— par J. W. Müller : suite de la série, commencée en mai 1969, sur le « Traitement statistique des résultats de mesure » (voir Rapports internes p. 88).

— par P. Carré, le 22 juin 1973 : Simulation de mémoire virtuelle sur l'ordinateur IBM 1130.

Visites et stages au B.I.P.M.

Une dizaine de visites ont été organisées pour des groupes de chercheurs, ingénieurs ou étudiants. Parmi les visites et les stages de physiciens ou professeurs nous ne citerons que ceux qui ont une répercussion directe sur les travaux du B.I.P.M.

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

Mr G. H. Hofmeester (Rijks Instituut voor de Volksgezondheid, Utrecht) a terminé le 23 février 1973 un stage d'un an dans le groupe des rayons X et γ ; il a participé aux travaux relatifs aux mesures concernant le rayonnement γ du ^{60}Co : exposition, dose absorbée et comparaison des étalons d'exposition de l'O.M.H. et du B.I.P.M.

Mr T. Suzuki (International Latitude Observatory, Mizusawa, Japon) a terminé le 1^{er} juin 1973 un stage de dix mois à la Section de gravimétrie.

Mr J. H. Hubbell (National Bureau of Standards, Washington) est venu le 4 octobre 1972 discuter avec les membres du groupe des rayons X et γ des problèmes relatifs à la détermination des coefficients d'atténuation.

Mr J. Hizo (Office National des Mesures, Budapest) a participé du 17 au 27 octobre 1972 à la comparaison des étalons d'exposition de son laboratoire avec ceux du B.I.P.M. (rayons X de faible énergie et rayons γ du ^{60}Co).

Mr R. L. Barger (N.B.S., Boulder) est venu discuter, du 2 au 17 novembre 1972, de divers problèmes concernant les lasers asservis He-Ne (CH_4), la mesure de leur longueur d'onde et la dissymétrie de la radiation étalon du krypton.

Mr S. Larigaldie (Office National des Études et des Recherches Aérospatiales, Chatillon, France) a fait un stage du 27 novembre au 29 décembre 1972 à la Section de gravimétrie.

Mr G. A. Bell (N.S.L., Chippendale) s'est principalement intéressé à la mesure de g et à celle de la masse volumique de l'eau (7 décembre 1972).

Sept membres de la Commission Intergouvernementale d'Océanographie et du Bureau Intergouvernemental d'Océanographie de l'U.N.E.S.C.O. ont visité notre installation pour l'étude de la masse volumique de l'eau (5 janvier 1973).

Mr J.-J. Gostely (Institut d'Électrochimie et de Radiochimie de l'École Polytechnique Fédérale, Lausanne) a fait un stage du 23 janvier au 2 février 1973 pour étudier la préparation des sources radioactives et discuter des problèmes de statistique de comptage.

Mr Bricka (Centre d'Études Nucléaires, Cadarache, France), Mr Gaulard (Département de Radioprotection d'Électricité de France) se sont spécialement intéressés aux mesures neutroniques le 8 février 1973.

M^{me} J. S. Merritt (Atomic Energy of Canada Ltd., Chalk River) et Mr J. Steyn (National Physical Research Laboratory, Pretoria) ont visité la Section des rayonnements ionisants le 12 mars 1973 et ont discuté des questions de comparaisons internationales de radionucléides.

Mr A. J. Wallard (N.P.L., Teddington) a apporté, le 30 mars 1973, deux lasers à He-Ne stabilisés par absorption saturée sur une raie de l'iode, construits au N.P.L. Jusqu'au 25 avril, il a participé activement aux mesures de longueurs d'onde faites avec l'interféromètre de Michelson et aux comparaisons par battements avec les lasers du B.I.P.M.

Mr F. Bertinotto (I.M.G.C., Turin) a passé une dizaine de jours, du 9 au 17 avril 1973, dans notre section « lasers » pour s'initier aux problèmes de construction, d'asservissement, de comparaison de fréquence par battements et de mesure des longueurs d'onde.

Mr R. Taubert (P.T.B., Braunschweig) a visité, le 10 avril 1973, la Section des rayonnements ionisants; il s'est également intéressé à la mesure de g et aux mesures de masse.

Mr Stachewski (Kernforschungszentrum, Karlsruhe) a discuté avec nous des problèmes relatifs à l'étude d'eaux composées d'éléments isotopiquement purs (2 mai 1973).

MM. Song Yung-Lin et Li Chia-Hua (Institut National de Métrologie, Pékin) ont effectué un stage dans la Section d'électricité, du 21 mai au 5 juin 1973, pour se familiariser avec nos méthodes de mesure et assister à la vérification de leurs étalons du volt et de l'ohm.

Mr M. Martinelli (Centre d'Études Nucléaires de Casaccia, Italie) a fait un stage du 4 au 15 juin 1973 pour la préparation des sources radioactives.

Mr Ryves (N.P.L., Teddington) s'est particulièrement intéressé aux mesures neutroniques le 5 juin 1973.

Mr V. Kose (P.T.B., Braunschweig) a discuté les 6 et 7 septembre 1973 des problèmes concernant l'application de l'effet Josephson. Il s'est également intéressé à la mesure de g et à des problèmes statistiques.

M^{me} Dobrzycka et Mr Cisak (Institut de Géodésie et Cartographie, Varsovie), ont effectué un stage du 10 au 21 septembre 1973 à la Section des longueurs.

Mr P. E. Ciddor (N.S.L., Chippendale) a visité les Sections des longueurs, d'interférométrie et de gravimétrie les 17 et 18 septembre 1973.

Mr M. Menaché (Institut Océanographique, Paris) est venu au B.I.P.M. à de nombreuses reprises à l'occasion des mesures de masse volumique de l'eau.

MM. G. Cerutti et L. Cannizzo (I.M.G.C., Turin) ont effectué plusieurs stages d'une durée totale d'environ deux mois pour la mise au point du gravimètre absolu transportable réalisé en collaboration avec le B.I.P.M.

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 1972.

Compte I. — Fonds ordinaires

RECETTES	
	francs-or
Actif au 1 ^{er} janvier 1972.....	1 917 679,20
Recettes budgétaires.....	<u>3 352 227,97</u>
Total.....	<u><u>5 269 907,17</u></u>

DÉPENSES	
	francs-or
Dépenses budgétaires.....	2 486 627,72
Différences de change.....	88 090,53
Versement au compte « Remboursements aux États ».....	22 059,00
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1972.....	<u>2 673 129,92</u>
Total.....	<u><u>5 269 907,17</u></u>

DÉTAIL DES RECETTES BUDGÉTAIRES

Versements de contributions :

	francs-or
au titre de l'exercice 1972.....	2 543 859,00
au titre des exercices antérieurs.....	368 437,00
au titre de l'exercice 1973.....	298 876,00
	} 3 211 172,00
Intérêts des fonds.....	43 670,33
Taxes de vérification.....	8 178,34
Remboursements des taxes sur les achats.....	72 223,48
Recettes diverses.....	<u>16 983,82</u>
Total.....	<u><u>3 352 227,97</u></u>

DÉTAIL DES DÉPENSES BUDGÉTAIRES

Chapitres	Dépenses de l'exercice	Prévisions budgétaires	Économies	Dépassements
	francs-or	francs-or	francs-or	francs-or
A. Dépenses de personnel :				
1. Traitements.....	1127 406,98	1250 000	122 593,02	-
2. Allocations familiales.....	68 121,18	66 000	-	2 121,18
3. Sécurité sociale.....	75 510,23	80 000	4 489,77	-
4. Assurance-accidents.....	11 766,37	13 000	1 233,63	-
5. Caisse de Retraites.....	125 000	125 000	-	-
B. Dépenses de fonctionnement :				
1. Bâtiments (entretien).....	175 543,26	200 000	24 456,74	-
2. Mobilier.....	281,32	5 000	4 718,68	-
3. Laboratoires et ateliers.....	304 270,59	380 000	75 729,41	-
4. Chauffage, eau, énergie électrique...	66 576,84	90 000	23 423,16	-
5. Assurances.....	3 392,58	4 500	1 107,42	-
6. Impressions et publications.....	51 432,92	45 000	-	6 432,92
7. Frais de bureau.....	38 917,75	45 000	6 082,25	-
8. Voyages.....	15 231,27	40 000	24 768,73	-
9. Bureau du Comité.....	12 500	12 500	-	-
C. Dépenses d'investissement :				
1. Laboratoires.....	306 876,80	460 000	153 123,20	-
2. Atelier de mécanique.....	17 705,89	25 000	7 294,11	-
3. Atelier d'électronique.....	15 115,84	22 000	6 884,16	-
4. Bibliothèque.....	18 623,44	32 000	13 376,56	-
D. Frais divers et imprévus.....	40 255,09	140 000	99 744,91	-
E. Utilisation de monnaies non convertibles.....	12 099,37	125 000	112 900,63	-
Totaux.....	2 486 627,72	3 160 000	681 926,38	8 554,10

Compte II. — Caisse de Retraites

RECETTES

	francs-or
Actif au 1 ^{er} janvier 1972.....	368 624,23
Intérêts des fonds.....	7 688,20
Retenues sur les traitements.....	58 498,93
Virement du Compte I.....	125 000,00
Total.....	559 811,36

DÉPENSES

	francs-or
Pensions servies.....	110 760,94
Remboursement des cotisations d'un technicien démissionnaire..	4 414,89
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1972.....	444 635,53
Total.....	559 811,36

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

Ce compte n'a enregistré en 1972 aucun mouvement en recette ou en dépense. Comme au 1^{er} janvier 1972, il se présente ainsi :

	francs-or
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1972.....	21 763,59

Bilan

AU 31 DÉCEMBRE 1972

	francs-or
Compte I « Fonds ordinaires ».....	2 673 129,92
Compte II « Caisse de Retraites ».....	444 635,53
Compte III « Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique ».....	21 763,59
ACTIF NET.....	3 139 529,04

Cet actif se décompose comme suit :

a. Fonds déposés en banque :

	francs-or
1° En monnaie française.....	672 345,39
2° » U. S. A.....	1 280 739,62
3° » suisse.....	1 181 332,40
4° » britannique.....	9 838,42
5° » hongroise.....	7 868,47
6° » polonaise.....	27 859,70
b. Espèces en caisse.....	26 193,04
Total.....	3 206 177,04

A déduire :

Provision pour remboursements aux États.....	66 648,00
ACTIF NET.....	3 139 529,04

5^e RAPPORT

DU

COMITÉ CONSULTATIF POUR LA DÉFINITION DU MÈTRE

AU

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Par W. R. C. ROWLEY, Rapporteur

Le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (C.C.D.M.) a tenu sa cinquième session au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les mercredi 13, jeudi 14 et vendredi 15 juin 1973.

Mr Otero, président du C.C.D.M. n'ayant pu se déplacer pour raison de santé, le bureau du Comité International des Poids et Mesures a demandé à Mr Stille d'assurer la présidence de cette session.

Étaient présents : U. STILLE, membre du C.I.P.M., président du C.C.D.M. en l'absence de Mr Otero.

Les délégués des laboratoires et organismes membres :

Conseil National de Recherches [N.R.C.], Ottawa (K. M. BAIRD),
Joint Institute for Laboratory Astrophysics [J.I.L.A.], Boulder
(J. L. HALL).

National Bureau of Standards [N.B.S.], Washington (K. G.
KESSLER, K. M. EVENSON).

National Physical Laboratory [N.P.L.], Teddington (W. R. C.
ROWLEY).

National Research Laboratory of Metrology [N.R.L.M.], Tokyo
(Y. SAKURAI).

National Standards Laboratory [N.S.L.], Chippendale (C. F.
BRUCE).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [P.T.B.], Braunschweig
(E. ENGELHARD, F. BAYER-HELMS).

Union Astronomique Internationale [U.A.I.] (A. H. COOK).

Un des membres nominativement désignés :

L. FRENKEL (Cambridge, Mass.).

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

Invités : R. L. DUNCOMBE (U.S. Naval Observatory, Washington);

J. KOVALEVSKY (Observatoire de Paris).

Assistaient aussi à la session : J. DE BOER, secrétaire du C.I.P.M.;

P. GIACOMO, sous-directeur du B.I.P.M., P. CARRÉ, A. SAKUMA,

J. HAMON, J.-M. CHARTIER (B.I.P.M.).

Excusés : J. M. OTERO, président du C.C.D.M.; B. EDLÉN (Lund),

membre nominativement désigné. J. BONANOMI (Observatoire

de Neuchâtel), G. A. WILKINS (Royal Greenwich Observatory)

et G. M. R. WINKLER (U.S. Naval Observatory), invités.

Absents : Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung

[A.S.M.W.], Berlin; Institut de Métrologie D. I. Mendéléev

[I.M.M.], Leningrad; K. SHIMODA (Tokyo).

Avant la session, des documents décrivant les travaux intéressant le C.C.D.M. et exécutés depuis sa précédente réunion (1970) ont été envoyés aux membres. Ces documents (*voir* Annexes M 1 et M 2)*, suscités en partie par un questionnaire envoyé à tous les membres, ont permis à ceux-ci d'exposer leur opinion concernant les perspectives d'une future redéfinition de l'unité de longueur. Il a été ainsi possible au C.C.D.M. de consacrer la majeure partie de son temps à discuter les conclusions de ces travaux préliminaires.

Le *Président* ouvre la session en souhaitant la bienvenue aux participants, particulièrement aux astronomes invités à cette session en raison de l'importance de la vitesse de la lumière comme étalon de référence dans les mesures astronomiques.

Le *Président* rappelle que trois anciens membres : H. Barrell, I. C. Gardner et A. I. Kartachev sont décédés depuis la dernière session. MM. *Stille*, *Cook* et *Kessler* résument les contributions importantes de ces trois physiciens aux travaux du C.C.D.M.; une minute de silence est observée à leur mémoire.

Mr Rowley (assisté de Mr Hamon comme secrétaire) est nommé rapporteur.

L'ordre du jour est accepté sous une forme plus détaillée que celle qui avait été proposée par correspondance.

L'étalon primaire de longueur : la radiation du krypton 86

La *dissymétrie* du profil spectral de la radiation étalon a été l'objet d'études dans plusieurs laboratoires. Quelques études (N.P.L., N.B.S.)

* Les Annexes M mentionnées dans ce rapport sont publiées dans *Comité Consultatif pour la Définition du Mètre*, 5^e session, 1973.

ont révélé une dissymétrie significative, tandis que d'autres mesures (P.T.B., I.M.M.) n'ont montré aucune dissymétrie dans la limite des incertitudes. Au B.I.P.M., une mesure de la longueur d'onde de la radiation d'un laser asservi sur l'iode, faite au moyen d'un étalon en silice fondue de 800 mm, a donné la même valeur que celle qui est déterminée avec un interféromètre de Michelson à une différence de marche de 375 mm, indiquant ainsi que la correction de dissymétrie est négligeable (*Terrien*).

La mesure au N.B.S. (Boulder) était faite au moyen d'un interféromètre de Perot-Fabry, à plusieurs différences de marche, par comparaison avec la radiation d'un laser asservi sur le méthane. La dissymétrie mesurée était semblable à celle qui a été déterminée au B.I.P.M. en 1962. Au N.B.S. (Washington) on a utilisé un laser asservi sur l'iode pour mesurer la fonction instrumentale d'un interféromètre de Perot-Fabry. La valeur de la dissymétrie de la raie du krypton ainsi déterminée par déconvolution était également voisine de la valeur de 1962 dans la limite de ses incertitudes. Au N.P.L. on a aussi utilisé un laser asservi pour déterminer le profil spectral de la raie du krypton à partir d'observations faites avec un étalon de Perot-Fabry; ces mesures ont donné une dissymétrie beaucoup plus faible. Tous les résultats des mesures de dissymétrie communiqués sont, toutefois, accompagnés d'incertitudes importantes (N.P.L.).

La cause de la dissymétrie observée est encore inexpliquée. Sa valeur est sensiblement du même ordre aux deux extrémités du capillaire de la lampe, et à des pressions plus basses que celle qui est recommandée, mais aucune théorie fondamentale de l'émission spectrale n'a été suggérée pour l'expliquer (*Terrien*). Il semble probable que cette dissymétrie est liée aux propriétés du tube à décharge plutôt qu'à celles des atomes émetteurs eux-mêmes (*Cook, Terrien*). Il se pourrait que l'explication réside en des déplacements Doppler provoqués par des courants opposés d'atomes le long de l'axe et près des parois du capillaire (N.P.L.). Dans ce cas, la grandeur de la dissymétrie observée pourrait varier d'un laboratoire à l'autre, suivant les caractéristiques du système optique utilisé. A la P.T.B., on utilise un appareillage d'alignement pour ajuster la lampe à krypton, ce qui peut être la raison pour laquelle on n'a pas observé de dissymétrie dans ce laboratoire (*Engelhard*).

On a poursuivi au N.B.S. et à la P.T.B. l'étude des *déplacements Doppler* provenant des mouvements des atomes dans la direction de l'axe du capillaire, étude qui a été évoquée à la session de 1970. Dans les mesures faites à la P.T.B. on supposait une forme parabolique de la distribution de la vitesse radiale (*Bayer-Helms*), tandis qu'au N.B.S. la forme de la distribution était déterminée empiriquement (*Hall*). L'accord entre ces deux déterminations peut être considéré comme satisfaisant: la première (*voir* Annexe M 15) donne une différence de nombre d'ondes $\sigma_{\text{axe}} - \sigma_{\text{périphérie}}$ de l'ordre de $+ 0,013 \text{ m}^{-1}$ et la seconde $\approx + 0,024 \text{ m}^{-1}$, dans les conditions recommandées.

La *reproductibilité* de la longueur d'onde de la radiation du krypton émise par différentes lampes a été étudiée dans plusieurs laboratoires; dans tous ces laboratoires les lampes étaient employées dans les conditions recommandées par le C.I.P.M. Au B.I.P.M., une comparaison de quatre lampes construites par la P.T.B. a montré que l'ordre de grandeur des différences entre elles n'excède pas 1×10^{-9} , bien qu'on les ait utilisées avec des systèmes optiques légèrement différents (*Terrien*). On a observé un accord similaire au N.B.S. entre deux lampes (*Kessler*) et de même au N.R.C. (*Baird*). Au N.S.L., on n'a observé entre lampes aucune différence supérieure aux incertitudes expérimentales de 1×10^{-8} (*Bruce*); mais les résultats de l'I.M.M. laissent apparaître des différences atteignant jusqu'à 5×10^{-9} . L'opinion générale est que les lampes elles-mêmes peuvent fournir une reproductibilité de 1×10^{-9} mais que, pratiquement, ce sont des effets systématiques tels que des déplacements liés à l'effet Doppler ou à la dissymétrie du profil spectral qui limitent la reproductibilité de la radiation étalon émise par la lampe à krypton.

La reproductibilité de la radiation étalon du krypton, d'un laboratoire à l'autre, est mise en évidence par la faible dispersion des mesures de longueur d'onde de lasers asservis. Six laboratoires ont donné les résultats de mesures de longueur d'onde de lasers asservis sur des raies d'absorption saturée de l'iode. Lorsque ces résultats sont tous ramenés à la même composante hyperfine, la plus grande différence par rapport à la moyenne n'atteint pas 3×10^{-9} . Il en est de même pour les quatre mesures de la longueur d'onde de la radiation de lasers asservis sur une raie d'absorption saturée du méthane: la plus grande différence par rapport à la moyenne est ici encore inférieure à 3×10^{-9} . Comme ce bon accord peut être quelque peu fortuit, on conclut que l'unité de longueur est réalisée avec une exactitude de 4×10^{-9} à l'aide de la lampe à krypton utilisée dans les conditions recommandées.

Lasers asservis et étalons secondaires de longueur d'onde

Dans de nombreux laboratoires, les travaux sur l'asservissement de lasers sont en cours pour l'obtention de longueurs d'onde reproductibles. On étudie en particulier trois systèmes de lasers: le laser à He-Ne ($\lambda = 633$ nm) asservi sur une raie d'absorption saturée de l'iode ou du néon, le laser à He-Ne ($\lambda = 3,39$ μm) asservi sur l'absorption saturée ou linéaire du méthane et le laser à CO_2 dans la région de 10 μm , asservi en utilisant la fluorescence saturée de CO_2 .

Dans le système d'asservissement sur l*iod*e on peut utiliser soit l'isotope naturel $^{127}\text{I}_2$, soit l'isotope artificiel $^{129}\text{I}_2$. Ce dernier donne des raies d'absorption plus intenses, ce qui rend l'asservissement plus facile. Avec l'un ou l'autre de ces isotopes, de nombreuses composantes hyperfines peuvent être utilisées pour l'asservissement; il n'est pas encore évident que l'une d'elles présente plus d'avantages que les autres. Les

intervalles de fréquence entre ces composantes peuvent être mesurés par des méthodes de battements avec une précision si élevée que, lorsqu'on a mesuré la longueur d'onde d'une des composantes, on peut en déduire la longueur d'onde des autres sans perte d'exactitude. La reproductibilité de ces lasers, en tant qu'étalons de longueur d'onde, est meilleure que 1×10^{-10} sur des durées de quelques mois (N.B.S.), approximativement 4×10^{-11} sur une année (N.P.L.) et 3×10^{-11} d'un jour à l'autre (N.R.C.).

Le système d'asservissement sur le *méthane* le plus courant est celui qui utilise l'absorption saturée. Dans l'autre système possible, qui utilise l'absorption linéaire, la cuve à méthane est en dehors de la cavité optique; il en résulte que la raie d'absorption est plus large et que son déplacement en fonction de la pression est plus important. Néanmoins, une analyse théorique des fluctuations et des sources de bruit suggère que la méthode d'absorption linéaire pourrait finalement avoir des possibilités supérieures (*Shimoda*). Lorsqu'on considère les possibilités ultimes de ces deux systèmes, le déplacement dû à l'effet de recul peut devenir important. Cet effet peut facilement être calculé pour l'absorption linéaire, mais il est beaucoup plus petit et plus complexe dans le cas de l'absorption saturée (*Hall*). Des études sur les phénomènes physiques de l'absorption saturée, concernant particulièrement le profil spectral des raies et la reproductibilité, sont en cours. Les résultats actuels montrent que, dans les lasers de résolution habituelle, des décalages de l'ordre de 3×10^{-11} peuvent provenir de la saturation différentielle des composantes hyperfines de CH_4 . A ce jour, on indique pour des lasers asservis sur le méthane des stabilités de 4×10^{-13} sur des durées de 1 s et de 3×10^{-14} sur des durées de 10 s (N.B.S.). Une stabilité à court terme de 5×10^{-14} est mentionnée pour un système de laser en anneau (I.M.M.). Des stabilités à long terme de $\pm 2 \times 10^{-10}$ par heure pour l'absorption saturée et de $\pm 6 \times 10^{-12}$ par heure pour l'absorption linéaire ont aussi été mentionnées (N.R.L.M.).

Pour l'asservissement du laser à CO_2 , le système qui utilise le « Lamb-dip » dans la radiation de fluorescence à $4,3 \mu\text{m}$ n'a pas encore été étudié aussi complètement que les systèmes précédents, mais on a indiqué des stabilités de 1×10^{-11} sur des durées de 10 s (N.B.S.). Dans le visible, on étudie aussi l'asservissement du laser à He-Ne au moyen d'une cuve à néon placée à l'intérieur de la cavité; la reproductibilité à long terme est de 3×10^{-10} (I.M.M.). Bien que de qualités plus modestes, les lasers à He-Ne ($\lambda = 633 \text{ nm}$) asservis sur le « Lamb-dip » sont utilisés comme étalons dans les mesures de longueur de routine. Une augmentation lente de la longueur d'onde de trois lasers (type S.P. 119), de l'ordre de 1×10^{-8} par an, a été observée sur une période de plusieurs années (B.I.P.M.).

Dans le but de fournir une source laser émettant plusieurs longueurs d'onde stabilisées bien adaptées aux mesures interférentielles utilisant la méthode des coïncidences, des études sont en cours sur les lasers à gaz ionisé (argon, krypton, xénon) en liaison avec des méthodes d'absorption (P.T.B.).

Au cours de la discussion sur le rôle que peuvent jouer les lasers asservis comme étalons de longueur d'onde, on rappelle le risque d'erreurs dues à la lumière rétroréfléchie qui provoque un décalage de la fréquence (*Terrien*). On signale que cet effet peut être réduit à un niveau acceptable par l'emploi combiné d'isolateurs optiques et d'un laser à fréquence décalée (*Kessler*).

Peu d'études se rapportant aux *radiations étalons secondaires* recommandées en 1962 ont été mentionnées. La longueur d'onde d'une lampe à ^{198}Hg , mesurée sur une durée de cinq années, a montré une augmentation de 2×10^{-8} seulement, confirmant son utilité comme étalon secondaire (N.S.L.). Plusieurs lampes du type Osram à ^{114}Cd et à ^{198}Hg ont été fabriquées (P.T.B.) à la suite de leur mise au point dont il a été rendu compte en 1970.

Mesures de la longueur d'onde de radiations de lasers asservis

Un certain nombre de déterminations précises de longueurs d'onde de radiations émises par des lasers asservis ont été présentées à cette session; ces déterminations utilisent comme référence la radiation étalon du krypton. Cependant, pour attribuer des valeurs numériques aux résultats obtenus il faut d'abord résoudre deux problèmes :

— Avec quelle incertitude la longueur d'onde émise par une lampe à krypton dans les conditions recommandées, correspond-elle à celle des atomes non perturbés impliqués dans la définition du mètre?

— Si le profil spectral de la radiation étalon est dissymétrique, que doit-on prendre comme référence des mesures : le sommet ou le centre de gravité du profil?

La première question a fait l'objet de beaucoup de recherches à l'époque où le krypton fut proposé comme étalon et elle a été réexaminée depuis à chaque session du C.C.D.M. Tous les résultats ont confirmé que la compensation des diverses perturbations de la longueur d'onde est meilleure que 1×10^{-8} quand une lampe à krypton est utilisée dans les conditions recommandées. Ainsi, tous les laboratoires ont utilisé des lampes dans ces conditions, et seul l'un d'eux (B.I.P.M.) applique une petite correction (3×10^{-9}) pour les mesures précises de longueur et de longueur d'onde. L'opinion unanime des membres du C.C.D.M. est que ces nouvelles déterminations de longueurs d'onde de lasers asservis devraient rester compatibles avec les valeurs des étalons secondaires recommandées par le C.C.D.M. en 1962, et avec les mesures d'étalons de longueur et de longueurs d'onde de lasers faites depuis lors. Le C.C.D.M. estime en conséquence que le plus important est de maintenir la continuité des résultats par l'emploi d'une « réalisation du mètre » qui reproduit sûrement le mètre non perturbé idéal avec une incertitude inférieure à 1×10^{-8} , valeur acceptée à l'origine pour l'incertitude de la réalisation pratique de la définition.

La seconde question se pose particulièrement à propos de certaines mesures récentes de longueurs d'onde qui ont été publiées (B.I.P.M., N.B.S.) avec un choix entre deux valeurs numériques, suivant que l'on attribue le nombre d'ondes de la définition du mètre soit au sommet, soit au centre de gravité du profil spectral de la radiation du krypton. Une étude de l'effet de dissymétrie sur les mesures de longueurs d'onde effectuées avec des interféromètres de types différents a été faite par P. Giacomo (B.I.P.M.). La conclusion est que, avec les différences de marche nécessaires pour des mesures de précision et en utilisant la lampe à krypton, la longueur d'onde effective se situe approximativement au milieu des valeurs correspondant au sommet et au centre de gravité du profil. Ainsi, cette valeur intermédiaire correspond à la « réalisation du mètre » de la majorité des laboratoires.

Iode

Six laboratoires (N.R.C., N.B.S., N.P.L., N.S.L., P.T.B., B.I.P.M.) présentent les résultats de mesures de la longueur d'onde de radiations de lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée de l'iode. Les valeurs qui ont été déterminées correspondent à diverses composantes hyperfines de $^{127}\text{I}_2$ et de $^{129}\text{I}_2$. Pour permettre de faire une comparaison, toutes ces valeurs sont rapportées à la composante i de $^{127}\text{I}_2$ en utilisant les valeurs des intervalles de fréquence mesurés par battements (*voir* l'Appendice). Le choix de la composante i comme référence est arbitraire et résulte seulement du fait que plusieurs laboratoires ont déjà rapporté leurs résultats à cette composante. Les valeurs obtenues de la longueur d'onde sont en excellent accord; toutes les mesures étant jugées de précision comparable, la valeur moyenne arrondie est adoptée comme la valeur la plus probable.

TABLEAU I

*Détermination dans plusieurs laboratoires
de la longueur d'onde de lasers à He-Ne
asservis sur une raie d'absorption saturée de l'iode*

Les résultats sont rapportés à la composante i de $^{127}\text{I}_2$. Aucune correction n'est appliquée pour la dissymétrie de la radiation étalon.

(Unité: femtomètre)

Laboratoire	$\lambda = 632\ 991\ 000 +$	Incertitude	Mesure originale
N.B.S.	399,8*	$\sigma_m = 1,2$	$^{129}\text{I}_2$ k
N.R.C.	8	$\sigma_m = 3$	$^{127}\text{I}_2$ i
N.S.L.	8	$\sigma = 7$	$^{129}\text{I}_2$ m, n, k, a'
P.T.B.	7	$\sigma_m = 1,1$	$^{129}\text{I}_2$ B
N.P.L.	9,0	$3\sigma_m = 0,8$	$^{127}\text{I}_2$ d
B.I.P.M.	9,4	$\sigma_m = 1,2$	$^{127}\text{I}_2$ d, g
Moyenne	398,5		
Moyenne arrondie à	399		

* Résultat obtenu en utilisant pour la radiation du krypton la valeur moyenne entre le sommet et le centre de gravité du profil.

σ = écart-type d'une mesure.

σ_m = écart-type de la moyenne.

Le plus grand écart par rapport à la moyenne est inférieur à 3×10^{-9} ; on estime donc que l'incertitude de la moyenne est celle qui a déjà été admise pour la reproductibilité de la réalisation de l'unité de longueur par une lampe à krypton ($\pm 4 \times 10^{-9}$). A la demande du C.C.D.M., le B.I.P.M. a établi un tableau des intervalles de fréquence et de longueur d'onde entre les diverses composantes du spectre de I_2 étudiées dans les différents laboratoires (voir l'Appendice, p. 114).

Méthane

Quatre laboratoires (N.R.C., N.B.S. Boulder, N.B.S. Washington, B.I.P.M.) présentent des résultats de mesures de la longueur d'onde de la radiation émise par des lasers à He-Ne asservis sur l'absorption saturée du méthane. Deux de ces mesures ont été faites en utilisant comme référence un laser asservi sur l'iode; en conséquence, on a ajusté les valeurs obtenues pour tenir compte de la valeur maintenant recommandée pour la longueur d'onde émise par ces lasers asservis sur l'iode. Comme dans le cas de l'iode, les résultats ajustés des mesures sur le méthane sont en excellent accord, le plus grand écart par rapport à la moyenne étant de 3×10^{-9} . Ainsi, la valeur moyenne arrondie est aussi jugée exacte à $\pm 4 \times 10^{-9}$ en fonction du mètre.

TABLEAU II
Détermination dans plusieurs laboratoires
de la longueur d'onde de lasers à He-Ne
asservis sur une raie d'absorption saturée du méthane

Aucune correction n'est appliquée pour la dissymétrie de la radiation étalon.
(Unité: picomètre)

Laboratoire	$\lambda = 3\ 392\ 231 +$	Incertitude
N.B.S. (Washington)	0,404 (a, b)	$\sigma_m = 0,013$
N.B.S. (Boulder)	0,390 (a)	$\sigma_m + \delta = 0,012$
N.R.C.	0,40 (b, c)	$\sigma_m = 0,02$
B.I.P.M.	0,388	$\sigma_m + \delta = 0,017$
Moyenne	0,395 5	
Moyenne arrondie à	0,40	

(a) Résultat obtenu en utilisant pour la radiation du krypton la valeur moyenne entre le sommet et le centre de gravité du profil.

(b) Résultat obtenu par comparaison à un laser asservi sur l'iode.

(c) « up conversion ».

σ_m = écart-type de la moyenne.

δ = incertitude sur la réalisation du mètre.

On fait remarquer (*Kessler*) que le rapport des valeurs moyennes arrondies des longueurs d'onde des radiations des lasers asservis sur l'iode et sur le méthane se trouve par hasard en excellent accord (à 2×10^{-10} près) avec une détermination expérimentale de ce rapport (N.B.S.); cette détermination a été faite par comparaison interférentielle en mettant

à profit les propriétés particulières du rayonnement des lasers; l'incertitude indiquée est de $\pm 5 \times 10^{-10}$.

On mentionne (*Hall*) l'existence, dans la raie d'absorption P(7) du méthane, d'une composante E qui pourrait avoir des avantages par rapport à la composante F qu'on utilise actuellement pour l'asservissement du laser.

Gaz carbonique

On présente aussi des résultats de mesures de longueurs d'onde pour le laser à CO_2 qui peut être asservi sur l'une quelconque de la centaine de raies des bandes à 9 μm et 10 μm (N.R.C.). Les mesures ont été faites par « up-conversion » sur neuf de ces raies seulement, mais les valeurs des longueurs d'onde des autres raies s'en déduisent d'après les intervalles de fréquence mesurés ou calculés (N.R.C.). Le C.C.D.M. est informé que des mesures précises des intervalles de fréquence ont été faites récemment au N.B.S. et seront publiées (*Evenson*). Des mesures de longueurs d'onde sont aussi en cours au N.P.L. et au Massachusetts Institute of Technology. Une confirmation des résultats des mesures de longueurs d'onde du N.R.C. a été possible en utilisant la valeur recommandée pour la longueur d'onde de la radiation du laser à méthane, le rapport des fréquences de CO_2 et CH_4 ainsi que les mesures (non publiées) d'intervalles de fréquence des raies de CO_2 (*Evenson*). La valeur de la longueur d'onde ainsi déduite pour la raie R(18) est 9 282 443,74 pm à rapprocher de celle qui a été obtenue au N.R.C. : 9 282 443,7 \pm 0,2 pm.

Dans la discussion sur ces mesures de longueurs d'onde, on considère qu'il n'y a pas de confirmation suffisante des mesures sur CO_2 pour que le C.C.D.M. puisse faire une recommandation à cette session. On suggère (*Terrien*; I.M.M.), en vue de contrôler la stabilité et la reproductibilité des sources lasers, que des comparaisons entre laboratoires seraient souhaitables. Mr *Terrien* fait état de récentes comparaisons effectuées au B.I.P.M. entre des lasers asservis sur le méthane construits au N.B.S., Boulder, et au Laboratoire de l'Horloge Atomique, Orsay (en accord à quelques centaines de kilohertz près) et entre des lasers asservis sur l'iode construits au N.P.L. et au B.I.P.M. Des lasers portables à I_2 et à CH_4 sont en cours de construction pour de tels travaux de comparaison (N.R.C.).

En conformité avec la Recommandation M 2 (1970) concernant l'adoption de valeurs pour les longueurs d'onde de lasers asservis sur l'absorption saturée du méthane ou de l'iode, le C.C.D.M. adopte la *Recommandation* M 1 (1973), p. 112.

Mesures de la fréquence de radiations de lasers asservis

On présente des résultats des mesures de fréquence pour quelques radiations de lasers asservis sur le CO_2 et aussi une valeur pour la fré-

quence du laser asservi sur le méthane (N.B.S.). Une valeur provisoire de la fréquence de la raie R(12) de CO_2 , mesurée au N.P.L., est également communiquée (*Rowley*); il est probable que cette valeur, $32\,176\,079\,482 \pm 30$ kHz, bien que provisoire, ne sera ultérieurement modifiée qu'en ce qui concerne la valeur de son incertitude, la reproductibilité du laser à CO_2 n'étant pas encore suffisamment connue. On a comparé cette valeur du N.P.L. avec celle du N.B.S. Boulder ($32\,176\,079\,489 \pm 24$ kHz) déduite de la valeur obtenue dans ce laboratoire pour une raie différente de CO_2 en utilisant des mesures (non publiées) d'intervalles de fréquence (*Everson*). Ainsi, l'écart entre les valeurs numériques est inférieur à 3×10^{-10} et nettement plus faible que les incertitudes estimées.

La vitesse de la lumière et la définition du mètre

Presque tous les laboratoires membres du C.C.D.M. ont présenté, par correspondance, leurs commentaires et leur point de vue au sujet de l'utilisation possible de la vitesse de la lumière comme base de la définition de l'unité de longueur. Plusieurs points de vue différents sont exprimés à ce sujet. Le concept d'un étalon unique pour la longueur et l'intervalle de temps est séduisant en soi; cela pourrait être réalisé de plusieurs manières. La définition du mètre pourrait être fondée sur la longueur d'onde de la transition du césium qui sert à définir la seconde, soit directement, soit indirectement en adoptant conventionnellement une valeur de la vitesse de la lumière. On pourrait également redéfinir simultanément la seconde et le mètre à partir d'une autre transition en utilisant les possibilités nouvelles offertes par les lasers si les travaux futurs démontrent que l'on peut ainsi atteindre une meilleure exactitude. On reconnaît aussi que fixer par convention une valeur de c conduirait à une simplification dans beaucoup de domaines de la mesure, en particulier pour les étalons électriques, en géodésie et en astronomie. Cependant, en ce qui concerne les mesures de longueur au laboratoire, les méthodes interférentielles reposent sur des étalons de longueur d'onde et un laser asservi étalon serait le choix naturel comme successeur du krypton 86.

Une définition fondée sur la vitesse de la lumière ne pourrait pas, dans l'état actuel, être utilisée directement au laboratoire pour des mesures de longueur; si on devait envisager un étalon unique (de fréquence et de longueur d'onde), il serait probablement nécessaire de disposer d'étalons secondaires constitués par des lasers asservis de fréquence connue. Cependant, la forme que devrait prendre une nouvelle définition du mètre n'est pas encore évidente et l'opinion générale est que, pour le moment, on ne doit pas prendre de décision concernant une nouvelle définition de l'unité de longueur.

Au cours de la discussion, les astronomes présents donnent un aperçu des mesures astronomiques pour lesquelles on a besoin de connaître la

valeur de c en fonction du mètre avec une grande exactitude. Les mesures de longueur les plus précises sont faites sur la distance Terre-Lune avec, actuellement, une incertitude de 150 mm; on espère les améliorer prochainement en réduisant l'incertitude à 30 mm (soit 5×10^{-11}). Il est peu probable qu'une précision nettement meilleure soit possible à cause des effets de la réfraction atmosphérique (*Kovalevsky*). Il n'est pas nécessaire que de telles mesures soient exprimées directement en mètres, excepté lorsqu'il faut maintenir cohérentes entre elles les mesures de déplacement, de vitesse et d'accélération. Par exemple, le mouvement d'éloignement de la Lune par rapport à la Terre (30 mm par an) qui est important pour les effets de marée nécessitera une comparaison des mesures faites sur des durées de dix ou vingt ans, pendant lesquelles il est souhaitable de maintenir inchangée la valeur admise pour c (*Kovalevsky*). Les mesures interférentielles sur les quasars nécessitent une base terrestre de 100 m à 1 km connue avec une exactitude de 1×10^{-8} et qui devrait être compatible avec des mesures astronomiques (*Cook*). Il se peut que les travaux futurs exigent que de telles bases soient mesurées à 1/10 de la longueur d'onde (infrarouge ou visible) utilisée pour les observations (*Kovalevsky*). Bien que la plupart des observations ne portent que sur la géométrie et impliquent seulement des mesures relatives, on étudiera bientôt des problèmes dynamiques, mettant en jeu par exemple les accélérations et la pesanteur, et l'on peut prévoir la nécessité de relier, avec une exactitude de 10^{-8} , les mesures astronomiques et les mesures terrestres (*Cook*). D'ici à dix ans il devrait être possible de mesurer avec précision des distances entre satellites par l'emploi de lasers en fonctionnement continu avec une exactitude qu'on estime à 10^{-9} (*Kovalevsky*).

En géodésie, les mesures sont aussi faites par des méthodes de mesure de temps de vol avec une exactitude limitée actuellement à 10^{-6} ou 10^{-7} du fait de la réfraction atmosphérique. On peut cependant envisager de faire le vide dans des tuyaux ayant jusqu'à 1 km de longueur et de les utiliser pour la mesure des déformations de la Terre, de l'ordre de 1×10^{-10} par an (*Cook*).

Ces discussions font ressortir deux thèmes principaux. Le premier est que les mesures astronomiques de distance fondées sur une valeur conventionnelle de c soient compatibles avec les mesures terrestres à 10^{-8} près, ou mieux. Le second est que les astronomes pourraient accepter dans le proche avenir un changement de la valeur qu'ils adoptent pour c , mais que de nouvelles observations astronomiques qui seront bientôt entreprises rendraient indésirables des changements ultérieurs dans les dix ou vingt prochaines années.

Le C.C.D.M. discute les trois récentes mesures conduisant à des valeurs précises de la vitesse de la lumière :

— la mesure de la fréquence du laser asservi sur le méthane (N.B.S.

Boulder), avec la valeur de sa longueur d'onde déjà recommandée, ce qui donne

$$c = 299\,792\,458,3 \pm 1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1};$$

— la mesure de la fréquence de la raie R(12) de CO_2 (voir plus haut), avec sa longueur d'onde déterminée au N.R.C. ($\lambda = 9\,317\,246,3 \pm 0,2 \text{ pm}$), ce qui donne

$$c = 299\,792\,457 \pm 6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1};$$

— la mesure de Bay et Luther (N.B.S. Washington) qui utilise une modulation micro-onde de la radiation visible d'un laser à He-Ne et conduit à

$$c = 299\,792\,462 \pm 18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}.$$

A cause de la différence notable des incertitudes, seul le premier des trois résultats est important pour la détermination de la valeur moyenne pondérée $c = 299\,792\,458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. L'incertitude de cette valeur est déterminée essentiellement par l'incertitude de la valeur de la longueur d'onde ($\pm 4 \times 10^{-9}$).

Le C.C.D.M. doit-il faire une recommandation concernant une valeur de c avec une telle incertitude? Quelques doutes sont émis (*Kovalevsky, Engelhard, Bayer-Helms*). On fait remarquer cependant que la mesure de la fréquence de la raie R(12) de CO_2 , faite au N.P.L., confirme la partie la plus difficile de la mesure de fréquence par étapes successives, et que l'incertitude estimée de la mesure de la fréquence est seulement le dixième de celle qui est suggérée pour la valeur de c (*Evenson*). On insiste sur le fait qu'il est souhaitable de donner une indication aux astronomes et aux physiciens sur la meilleure valeur de la vitesse de la lumière. Le C.C.D.M., qui comprend des spécialistes des laboratoires concernés par les récentes déterminations de fréquences et de longueurs d'onde, est plus compétent qu'aucune personnalité ou qu'aucune autre organisation pour combiner les valeurs mesurées nécessaires et décider des limites d'incertitude appropriées de façon à assurer la compatibilité entre la valeur de c et l'unité de longueur (*Terrien*).

La question de la future définition de l'unité de longueur est soulevée de nouveau en considération du besoin exprimé par les astronomes d'avoir une valeur de c qui reste inchangée pendant plusieurs années. La meilleure façon d'obtenir ce résultat serait évidemment d'utiliser c , de quelque manière, pour définir l'unité de longueur, mais le C.C.D.M. n'est pas en mesure de faire actuellement une proposition dans ce sens. Une redéfinition future pourrait être fondée soit sur un nouvel étalon de longueur d'onde, soit sur la vitesse de la lumière. Les valeurs proposées pour c et pour les longueurs d'onde du méthane et de l'iode représentent les valeurs les plus exactes qui peuvent être obtenues en fonction des étalons actuels et chacune reflète bien l'incertitude de la réalisation de l'unité de longueur.

Ainsi, et pourvu qu'aucun nouveau résultat ne vienne contredire cette assertion, la continuité de l'unité de longueur serait réalisée en gardant inchangée, dans une future définition de l'unité de longueur, n'importe laquelle des trois valeurs proposées (*Terrien*). Comme ces trois valeurs (λ_{CH_4} , λ_{I_2} , c) ont toutes des incertitudes identiques (4×10^{-9}), la liberté du choix futur est entière (*Cook*).

On suggère, pour la commodité en métrologie, qu'il pourrait être avantageux de maintenir inchangée la valeur de la longueur d'onde du méthane dans une définition future, quelle que puisse être la base de cette définition (*Baird*). Cependant, l'opinion générale du C.C.D.M. est qu'un changement, même minime, de la valeur de c serait une source de difficultés pour les astronomes et qu'il serait probablement préférable de chercher à maintenir inchangée la valeur de c . On fait observer que si une future définition de l'unité de longueur devait encore être fondée sur un étalon de longueur d'onde, la vitesse de la lumière resterait une constante expérimentale, de sorte que sa valeur serait alors susceptible de changer à la suite de nouveaux travaux expérimentaux de la plus haute exactitude (*Rowley*). Mr *Terrien* suggère qu'une définition fondée sur une longueur d'onde pourrait être rédigée de telle manière qu'il en résulte une valeur conventionnelle de la vitesse de la lumière. Il fait aussi remarquer que cette sorte de choix n'est pas sans précédent puisque l'ampère a été défini en fixant implicitement la valeur de μ_0 .

En conclusion, le C.C.D.M. adopte les *Recommandations* M 2 (1973) et M 3 (1973) p. 113.

Considérant en outre l'importance de la vitesse de la lumière, le C.C.D.M. s'accorde sur la déclaration suivante :

« Au sujet de la valeur de la vitesse de la lumière, on a rappelé les inconvénients des changements qui ont été proposés ou adoptés dans le passé, et qui pourraient l'être encore à l'avenir, lorsque de nouvelles déterminations sont effectuées. En effet, la valeur de la vitesse de la lumière est une constante fondamentale, en particulier elle fait partie du « Système UAI de constantes fondamentales », et elle sert à des expériences extrêmement précises, devant porter sur de nombreuses années, en astronomie, en géodésie et en géophysique. La plupart des membres présents, sans prétendre préjuger des définitions futures du mètre et de la seconde, ont déclaré qu'à leur avis il devrait être possible de conserver sans changement la valeur 299 792 458 mètres par seconde (*Recommandation* M 2 (1973)), à la condition, bien entendu, que les données expérimentales qui ont servi à établir cette valeur ne se révèlent pas à l'avenir entachées de graves erreurs systématiques insoupçonnées aujourd'hui.

Mesure des étalons à bouts, des étalons à traits et des déplacements

Plusieurs laboratoires mentionnent de nouveaux appareils pour la mesure interférentielle d'étalons à traits ou à bouts. La plupart de ces

appareils utilisent des sources laser avec des méthodes de comptage de franges. Ces méthodes sont aussi utilisées pour des distances jusqu'à 100 m (N.P.L., P.T.B.).

Trois règles mesurées au B.I.P.M. ont été aussi mesurées dans d'autres laboratoires; les résultats sont en bon accord avec des différences généralement inférieures à 0,1 μm . Tous les laboratoires acceptent de faire, de temps en temps, des comparaisons internationales de ce genre, mais la nécessité de telles comparaisons n'est pas aussi grande qu'auparavant étant donné l'exactitude des mesures maintenant obtenues par l'emploi des méthodes interférentielles et des sources laser (*Baird*).

Le B.I.P.M. propose la circulation de deux règles: l'une de 1 m de longueur, l'autre de 500 mm à « traits vibrés ». Plusieurs laboratoires représentés désirent prendre part, avec le B.I.P.M., à une comparaison internationale: cinq laboratoires (N.B.S., N.P.L., N.R.L.M., N.S.L., P.T.B.) avec la règle de 1 m et six laboratoires (les mêmes plus le N.R.C.) avec la règle de 500 mm.

Questions diverses

Notation spectroscopique. — L'accord n'est pas encore réalisé sur une notation spectroscopique unique pour les différentes raies moléculaires utilisées pour l'asservissement des lasers. Il n'y a pas de difficulté pour les raies du laser à CO_2 , mais pour celles du CH_4 il n'existe pas de notation internationale unifiée et l'opinion est divisée quant à la forme la mieux appropriée. C'est pour cette raison que, dans la Recommandation M 1 (1973), la raie du méthane n'est pas spécifiée de façon plus précise. Les raies sont cependant bien séparées, de sorte que la valeur de la longueur d'onde identifie la raie spécifiée sans ambiguïté. On a demandé aux organismes compétents et aux experts de régler ce problème de notation (*Terrien*).

On n'a pas attribué une identification spectroscopique complète à toutes les composantes hyperfines de l'iode; elles sont identifiées alphabétiquement. L'identification des composantes les plus communément utilisées, notamment celles de la Recommandation M 1 (1973), est précisée dans les références mentionnées à la fin de cette Recommandation.

* * *

Au moment de clore la session, le *Président* remercie les participants de leur concours et Mr *Baird*, au nom de ses collègues, remercie le président pour la conduite des travaux de cette 5^e session du C.C.D.M.

(Juillet 1973)

Recommandations
du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre
présentées
au Comité International des Poids et Mesures*

Longueurs d'onde des radiations des lasers à hélium-néon asservis sur le méthane ou sur l'iode

RECOMMANDATION M 1 (1973)

Le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre,

CONFORMÉMENT à la Recommandation M 2 (1970) concernant l'étude des radiations des lasers stabilisés sur des raies d'absorption de l'iode et du méthane et la mesure de leur longueur d'onde,

AYANT EXAMINÉ les résultats des comparaisons de la longueur d'onde de ces radiations à celle de la radiation de la définition du mètre et après discussion du degré de concordance entre plusieurs laboratoires,

CONSTATE que la réalisation pratique du mètre dans ces comparaisons montre une cohérence meilleure que le cent-millionième (10^{-8}),

RECOMMANDE que l'on emploie pour la longueur d'onde dans le vide des radiations des lasers à hélium-néon stabilisés sur les raies d'absorption les valeurs suivantes

<i>raie</i>	<i>longueur d'onde dans le vide</i>
Méthane, P(7), bande ν_3	$3\,392\,231,40 \times 10^{-12}$ m
Iode 127, R(127), bande 11-5, composante i	$632\,991,399 \times 10^{-12}$ m

ESTIME que la longueur d'onde de ces radiations a la valeur indiquée à $\pm 4 \times 10^{-9}$ près en valeur relative, et que cette incertitude est essentiellement due à l'indétermination actuelle de la réalisation pratique du mètre,

NOTE que d'autres composantes de la raie R(127) de la bande 11-5 de l'iode 127 ou des composantes de l'iode 129 peuvent être employées sans détérioration de l'exactitude en tenant compte des différences de fréquence; par exemple, on déduit de ces différences de fréquence que la composante B de $^{129}\text{I}_2$ a une

* Ces trois recommandations ont été approuvées par le Comité International des Poids et Mesures à sa 62^e session (octobre 1973).

longueur d'onde plus courte que la composante i de $^{127}\text{I}_2$ de $1,321\ 16 \times 10^{-12}$ m, c'est-à-dire que sa longueur d'onde est $632\ 990,078 \times 10^{-12}$ m. (La désignation de ces composantes est expliquée dans Appl. Phys. Letters, 18, 1971, p. 360, J. Phys. E, 5, 1972, p. 926 et Appl. Optics, 12, 1973, p. 2927.)

Valeur de la vitesse de la lumière

RECOMMANDATION M 2 (1973)

Le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre,

CONSIDÉRANT la raie du méthane recommandée avec la valeur de sa longueur d'onde dans le vide $3\ 392\ 231,40 \times 10^{-12}$ m, que l'on estime exacte à $\pm 4 \times 10^{-9}$ près en valeur relative, et la valeur $(88\ 376\ 181\ 627 \pm 50)$ kilohertz de la fréquence de cette même raie déterminée par le National Bureau of Standards en utilisant des étalons intermédiaires dont la fréquence a été confirmée par des mesures indépendantes d'autres laboratoires,

CONSTATE que la valeur de la vitesse de propagation de la lumière dans le vide qui en résulte est $299\ 792\ 458$ mètres par seconde avec l'incertitude d'environ $\pm 4 \times 10^{-9}$ qui est la conséquence de l'indétermination de la réalisation pratique du mètre,

NOTE que cette valeur est en accord, dans la limite des incertitudes estimées, avec les deux autres mesures indépendantes les plus récentes qui ont été communiquées à cette session du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre.

Poursuite des mesures de fréquences et de longueurs d'onde optiques

RECOMMANDATION M 3 (1973)

Le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre,

CONFIRME sa Recommandation antérieure M 4 (1970) soulignant le besoin de nouvelles recherches en vue d'une définition future du mètre plus précise que la définition actuelle, particulièrement de nouvelles mesures de fréquences optiques et de nouvelles comparaisons de longueurs d'onde de radiations de lasers stabilisés.

Appendice

Intervalles entre les raies d'absorption de I_2 ... (voir p. 114 et 115).

Intervalles entre les raies d'absorption de I₂

coïncident avec les raies d'émission des lasers à He-²⁰Ne et He-²²Ne (λ ≈ 633 nm)

Δf = f_{composante} - f_{référence} (en MHz) ; Δλ = λ_{composante} - λ_{référence} (en fm)

Correspondance entre Δf et Δλ : Δf/Δλ = 0,748 21 MHz/fm ; Δλ/Δf = 1,336 52 fm/MHz

127I₂ (²⁰Ne)

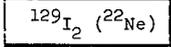
Référence : composante i λ_{vide} = 632 991 399 fm [1] ; f = 473 612 214 MHz [2]

Composante	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	Incertitude estimée	
Δf	[3]	297,3	288,5	280,7	166,9	153,6	139,7	126,3	22,3	0	-22,0	-129,3	-137,1	-152,3	-162,0	1 + 0,5 %
	[4]				165,060	152,214	138,845	125,690	21,919	0	-21,572					< 0,04
	[5]				165,107	152,225	138,865	125,677	21,938	0						< 0,02
Δλ	[6]	-397	-386	-375	-220,6	-203,4	-185,6	-168,0	-29,3	0	28,8	173	183	204	217	< 3 ou 0,1

129I₂ (²⁰Ne)

Référence : composante k λ_{vide} = 632 991 271 fm [1, 11] ; f = 473 612 310 MHz [2]

Composante	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n [8]	Incertitude estimée	
Δf	[7]	103,4	86,8	81,3	74,9	57,9	54,6	43,3	35,1	16,2	12,7	0	- 18,5	- 42,5 (- 56,5)	0,5 % à 1 %	
Δλ	[9]	-138,2	-116,0	-108,7	-100,1	- 77,4	- 73,0	- 57,9	- 46,9	- 21,7	- 17,0	0	24,7	56,8 (75,5)	"	
Composante	o	p	a'	b'	c'	d'	e'	f'	g'	h'	i'	j'	k'	l'		
Δf	[7]	- 80,2	- 89,2	- 99,0	-119,5	-131,5	-139,4	-156,9	-163,5	-184,0	-194,6	-198,6	-207,3	-227,7	-235,3	0,5 % à 1 %
Δλ	[9]	107,2	119,2	132,3	159,7	175,8	186,3	209,7	218,5	245,9	260,1	265,4	277,1	304,3	314,5	"
Composante	m'	n'	o'	p'	q'	r'	s'	t'	u'	v'						
Δf	[7]	-255,0	-283,5	-290,5	-293,9	-299,0	-307,8	-326,2	-341,6	-345,9	-361,7					0,5 % à 1 %
Δλ	[9]	340,8	378,9	388,3	392,8	399,6	411,4	436,0	456,6	462,3	483,4					"



Référence : composante B $\lambda_{\text{vide}} = 632\,990\,078 \text{ fm}$ [1] ; $r = 473\,613\,203 \text{ MHz}$ [2]

Composante	A	B	C	Incertitude estimée
Δf [10]	-19,81	0	17,94	0,1
$\Delta \lambda$ [11]	26,5	0	-24,0	0,1

Intervalles entre les composantes de référence des trois groupes

	$(^{129}\text{I}_2, k) - (^{127}\text{I}_2, i) =$	$(^{129}\text{I}_2, B) - (^{129}\text{I}_2, k) =$	$(^{129}\text{I}_2, B) - (^{127}\text{I}_2, i) =$
Δf [11]	96,039 9 \pm 0,009 8 MHz	892,467 \pm 0,083 MHz	988,507 \pm 0,084 MHz
$\Delta \lambda$ [12]	- 128,36 fm	- 1 192,8 fm	- 1 321,2 fm

- [1] Valeur recommandée par le C.C.D.M. (Recommandation M 1 (1973)), dont l'exactitude est estimée à $\pm 4 \times 10^{-9}$, soit $\pm 2,5 \text{ fm}$.
- [2] Calculé avec la valeur de \underline{c} indiquée dans la Recommandation M 2 (1973) du C.C.D.M.
- [3] HANES (G.R.), DAHLSTROM (C.E.), *Appl. Phys. Letters*, 1969, 14, p. 362-364.
- [4] HANES (G.R.), BAIRD (K.M.), DE REMIGIS (J.), *Appl. Optics*, 1973, 12, 7, p. 1600-1605, résultats de mesures croisées rapportées, après ajustement, à la composante d.
- [5] ROWLEY (W.R.C.), WALLARD (A.J.), *J. Phys. E*, 1973, 6, p. 647-652, résultats de mesures croisées rapportées, après ajustement, à la composante d.
- [6] $\Delta \lambda$ calculé à partir de Δf ; on a utilisé pour Δf les valeurs [3] pour les composantes a, b, c, k, l, m, n, la valeur [4] pour la composante j, la moyenne des valeurs [4] et [5] pour les composantes d, e, f, g, h ; $\Delta \lambda$ est arrondi à 1 fm dans le premier cas et à 0,1 fm dans les deux derniers cas.
- [7] KNOX (J.D.), PAO (Y.), *Appl. Phys. Letters*, 1971, 18, p. 360-361, résultats de mesures de Δf entre composantes successives ; incertitude non précisée, vraisemblablement 0,1 MHz sur les intervalles entre composantes successives (0,01 MHz dans quelques cas).
- [8] Intervalle mesuré également dans la référence [11] qui donne $\Delta f = 55,7 \pm 0,1 \text{ MHz}$ et $\Delta \lambda = 74,4 \pm 0,1 \text{ fm}$.
- [9] $\Delta \lambda$ calculé à partir de Δf et arrondi à 0,1 fm.
- [10] Valeurs communiquées par les auteurs de la référence [11].
- [11] SCHWEITZER (W.G.), KESSLER Jr (E.G.), DESLATTES (R.D.), LAYER (H.P.), WHETSTONE (J.R.), *Appl. Optics*, 1973, 12, p. 2927-2938 ; seuls les λ sont donnés dans cette référence, bien qu'ils soient déduits de mesures de Δf entre les composantes A, B ou C et la composante k de $^{129}\text{I}_2 (^{20}\text{Ne})$.
- [12] $\Delta \lambda$ calculé à partir de Δf .

INDEX

- Balances
Mettler M 5 et ME 22, 72
NBS-2, pesées avec, 44
régulation *t* salle des, 43
- Bâtiments
glissement terrain, 27
Grand Pavillon (peinture bureaux), 32
menuiserie (réfection mur extérieur), 32
Observatoire (ravalement façade; rénovation salles 9, 10, 13; tension 380/220 V), 32
Rayonnements ionisants (aménagement ancienne soude à charbon), 32
- Budget 1974, 28
- Bureau International Heure (BIH), établissement TAI, 19
- Caisse de prêts au personnel, 27
- Certificats, Notes d'étude, 89
- Comités Consultatifs
composition (CCE), 25
Définition du Mètre, 15; 5^e rapport, 98
réunions futures, 26
- Comité International, 7
bureau du, 12
membres honoraires : décès (R. Vieweg), 11
rapport du Secrétaire, 12
- Comparaisons internationales
étalons
capacité électrique 10 pF, 59
d'exposition, 60
nationaux 1 et $10^4 \Omega$ et V, 56
masses (20, 50, 100 mg), 46, 71
solution ^{54}Mn , 69
- Comptes, 12, 95
- Convention du Mètre
adhésion Pakistan, 12
préparation centenaire, 13
Rép. Dém. Allemande et Rép. Féd. d'Allemagne, 12
sur nombre des États membres, 29
- Déclaration C.C.D. Mètre sur valeur *c*, 110
- Dépôt des Prototypes métriques, visite, 25
- Documentation, 91
- Électricité, 56
effet Josephson, mise en œuvre, 60
étalons
capacité 10 pF, comparaison internationale, 59
nationaux 1 et $10^4 \Omega$ et V, comparaisons, 56
résistance 1Ω en Au-Cr et en manganine spéciale, 59
- Étalons
électriques (voir Électricité)
d'exposition, 60
d'énergie α , 77
longueur
à bouts, 33, 110
à traits, 33, 110
N^{os} 3 et 4 pour mesure *g*, 33
masse, 45, 46, 71
- Gravimétrie, 48
gravimètre absolu transportable, 51
gravimètre pour enregistrement marées, 48
station de Mizusawa, 50
- Interférométrie, 35
(voir Lasers, Radiations)
- Kilogrammes prototypes (N^{os} 37, 50, 53; 9, 31, C), 45
- Lasers asservis
 CO_2 , 102
He-Ne ($\lambda = 3,39 \mu\text{m}$ et 633 nm), 37-42; 101, 114
mesures λ , 103, 112
mesures *f*, 106
- Longueurs, 33
- Manométrie (manobaromètre interférentiel), 55
- Masses, 43
comparaison internationale, 46, 71
- Masse volumique
cylindres Pt-Ir, 46
eau, 29, 48
- Mesures neutroniques
sphères modératrices avec compteur BF_3 , étude des, 79
- Mètre, Comité Consultatif, 98

- Mètre et *c*, 107-110
Micropesée, 71
- Neutrons (*voir* Mesures neutroniques)
Notation spectroscopique, 111
Notice historique, 5
- Organismes internationaux et nationaux
travaux en liaison avec, 91
ISO/TC12, 18
UAI, 17
- Personnel du BIPM, 9, 30, 31
caisse de prêts, 27
départ, 31
engagements, 31
nominations, 31
pensions de retraites, 27
règlement, 26
traitements, 26
- Photométrie, 60
- Profil spectral radiations
étalon primaire (Kr 86), 35
mercure (436 et 546 nm), 42
- Publications
du BIPM, 86
extérieures, 87
rapports internes, 87
- Questions administratives, 26
- Radiations
étalon primaire (Kr 86): reproducti-
bilité, 35, 101; dissymétrie profil
spectral, 35, 99; déplacements
Doppler, 100
étalons secondaires, 103
mercure (436 et 546 nm), profil spec-
tral, 42
- Radionucléides
chambres d'ionisation $4\pi\gamma$, 72
micropesée, comparaison interna-
tionale, 71
phénomènes aléatoires et statistiques
de comptage, 73
sources radioactives
- amélioration sources ^{54}Mn , 68
comparaison solution ^{54}Mn , 69
distribution, 68
mesures $4\pi\beta\text{-}\gamma$, désintégration com-
plexe, 69
période ^{54}Mn et ^{60}Co , 68
spectrométrie α : énergie α ^{148}Gd et
 ^{210}Po , 77; forme des raies, 78;
valeurs recommandées, 78
- Rapport du directeur, 19
- Rayonnements ionisants (*voir* Mesures
neutroniques, Radionucléides, Rayons
X et γ)
- Rayons X et γ
coefficients atténuation pour rayonne-
ment γ 1,33 MeV, 65
courant ionisation massique d'une
chambre à cavité, variation en
fonction *p*, 63
étalons d'exposition, comparaisons, 60
fantôme graphite pour mesure dose
absorbée, 63
- Recommandations C.C.D. Mètre, 112
Règle géodésique I 5 (4 m), 34
- Spectrométrie α , 77
- Statistiques de comptage
impulsions individuelles et paires, 75
temps mort perturbateur, 73
- Système International d'Unités, 91
- Temps
TUC, TU 1, TAI, 17, 18
- Thermométrie, 52
installations pour E.I.P.T., 52
t thermodynamique point de congéla-
tion Ag et Au, 52-55
- Travaux du BIPM, discussion sur pro-
gramme des, 19
- Visites et stages au BIPM, 93
- Vitesse de la lumière, 17, 107
déclaration, 110
valeur recommandée, 113
- Voyages, visites, conférences et exposés
du personnel du BIPM, 91

TABLE DES MATIÈRES

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

62^e Session (Octobre 1973)

	Pages
Notice historique sur les organes de la Convention du Mètre	5
Liste des membres du Comité International	7
Liste du personnel du Bureau International	9
Ordre du jour de la session	10
Procès-verbaux des séances, 2-4 octobre 1973	11
Ouverture de la session; quorum; rappel du décès de R. Vieweg (octobre 1972); approbation de l'ordre du jour	11
<i>Rapport du Secrétaire du C.I.P.M.</i> (Convention du Mètre: adhésion du Pakistan; désignation des deux États allemands. Réunion du C.C.D.M. Bureau du C.I.P.M. Indications financières)	12
Centenaire de la Convention du Mètre et du B.I.P.M. en 1975 (Échanges de vues sur le programme des manifestations envisagées et sur la publication d'un ouvrage commémoratif par le B.I.P.M.)	13
Calendrier provisoire des réunions en mai 1975	15
<i>Rapport du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre</i> (Présentation et dis- cussion du rapport de la 5 ^e session du C.C.D.M.: étalons primaire et secondaires de longueur; longueur d'onde et fréquence des lasers asservis sur l'iode et le méthane; valeur de la vitesse de la lumière). Approbation de ce rapport.	15
Compte rendu sur les travaux de la 15 ^e Assemblée Générale de l'U.A.I. et de la réunion du Comité Technique TC 12 de l'I.S.O. (Décisions relatives à la valeur de la vitesse de la lumière et aux échelles de temps. Normes internationales de l'I.S.O. pour les grandeurs, unités et symboles)	17
<i>Exposé des travaux du B.I.P.M. et discussion sur le programme de ses activités</i> (Travaux du B.I.H., avec l'aide d'un physicien du B.I.P.M., pour l'établissement du TAI. Présentation du rapport du directeur (voir détails plus loin) et commentaires sur les principaux travaux du B.I.P.M. En conclusion d'une discussion générale sur ces travaux, le C.I.P.M. estime nécessaire de développer certaines activités, notamment en photométrie, radiométrie et en thermométrie)	19
Visite du dépôt des Prototypes métriques	25
Comités Consultatifs: composition (demande d'adjonction d'un laboratoire néer- landais au C.C.E.); dates des réunions futures	25

<i>Questions administratives</i> : Personnel (Relèvement de 2 % de la grille des traitements; étude d'un projet de règlement). Pensions de retraites (Majorations). Caisse de prêts (Accord du C.I.P.M. pour l'octroi au personnel de prêts remboursables). Bâti- ments (Travaux à prévoir: glissement de terrain, modernisation des toilettes). Adoption du rapport financier pour l'exercice 1972 et du budget pour 1974.	26
<i>Questions diverses</i> :	
Masse volumique de l'eau (Détermination en cours dans deux laboratoires nationaux)	29
Convention du Mètre (Remarque sur le nombre actuel des États membres)	29
Remarque sur le recrutement de personnel qualifié.	30
Dates des prochaines sessions du C.I.P.M.	30
Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau International (1 ^{er} octobre 1972—1 ^{er} octobre 1973)	31
I. PERSONNEL. — Remarques générales. Engagements (D. Reymann, J. Azoubib). Départ (D. Gorman)	31
II. BÂTIMENTS. — Observatoire (Rénovation de trois salles : 9, 10 (thermométrie) et 13 (chimie). Poursuite de la mise en service de la tension 380/220 V. Ravalement de la façade). Laboratoire des rayonnements ionisants (Aménagement de l'ancienne soute à charbon en annexe de l'atelier de mécanique). Grand Pavillon (Peinture de quatre bureaux). Dépendances (Réfection du revêtement du mur extérieur du bâti- ment de la menuiserie)	32
III. INSTRUMENTS ET TRAVAUX	32
Remarques générales	32
<i>Longueurs</i> . — Étalons à traits (Règles N ^{os} 504 [Suisse], 333 [France], 4794 et 4795 [Pologne], règle de 1 m [Inde])	33
Étalons à bouts (Étude de dix calibres [Suisse, Afrique du Sud])	33
Étalons spéciaux (N ^{os} 3 et 4) pour la mesure de <i>g</i> (Détermination du coeffi- cient de dilatation)	33
Base géodésique (Règle I4. Fils. Invar)	34
<i>Interférométrie</i> . — Étude de la reproductibilité de la longueur d'onde de la radiation étalon primaire	35
Dissymétrie du profil spectral de la radiation étalon primaire de longueur (Études théorique et expérimentale)	35
Lasers à He-Ne: $\lambda = 3,39 \mu\text{m}$; $\lambda = 633 \text{ nm}$ (Construction; mesures de λ , battements entre lasers); lasers asservis sur le « Lamb-dip »	37
Étude sommaire du profil spectral de raies du mercure dans des lampes à haute pression	42
<i>Masses</i> . — Régulation de la température de la salle des balances	43
Balance NBS-2 (Amélioration de sa stabilité thermique; première utilisation pour la comparaison de Kilogrammes étalons)	44
Kilogrammes prototypes (Détermination de la masse des Kilogrammes N ^o 37 [Belgique], N ^o 50 [Canada], C, N ^{os} 9 et 31 [BIPM] par comparaison au N ^o 25 [BIPM]. Valeur du Kilogramme N ^o 53 [Pays-Bas])	45
Masse volumique de trois cylindres en platine iridié	46
Études courantes (Kilogrammes en acier inoxydable N ^o 33 [Yougoslavie], N ^o 70 [Pakistan], N ^o 71 [Iran], N2 et N3 [BIPM]; série de masses de 10 kg à 1 mg [Irlande]; masses diverses)	46
Comparaison internationale de masses de 20, 50 et 100 mg (Comparaison des résultats des pesées effectuées dans trois laboratoires)	46

Masse volumique de l'eau (Suite de l'étude de l'influence de la composition isotopique de l'eau)	48
<i>Gravimétrie.</i> — Marées gravimétriques (Réalisation d'un gravimètre à ressort pour leur enregistrement permanent)	48
Station gravimétrique de Mizusawa (Japon) (Collaboration du BIPM pour la création de cette station) et assistance apportée par le BIPM à divers organismes extérieurs	50
Gravimètre absolu transportable (Appareil de l'Institut de Métrologie (Turin) réalisé en collaboration avec le BIPM)	51
<i>Thermométrie.</i> — E.I.P.T. (Amélioration des installations et des techniques)	52
Température thermodynamique des points de congélation de l'or et de l'argent (Nouveaux résultats de mesures par pyrométrie optique; qualités des cavités rayonnantes; transmission parasite des filtres interférentiels)	52
Études courantes. Installations et matériel	55
<i>Manométrie.</i> — Manobaromètre interférentiel de l'I.T.I. de Turin	55
<i>Électricité.</i> — 13 ^e comparaisons des étalons nationaux de résistance et de force électromotrice (Étalons de résistance de 1 Ω et de 10 ⁴ Ω ; piles conservées à 20 °C [bain d'huile] et à 30 °C [enceintes thermorégulées])	56
Mesures en relation avec les comparaisons précédentes	58
Étalons de résistance de 1 Ω en alliage Au-Cr et en manganine spéciale (Évolution de ces étalons)	59
Situation de la comparaison internationale circulaire des étalons de capacité en silice de 10 pF	59
Installations de mesure du BIPM. Études courantes	59
Poursuite de la mise en œuvre de l'effet Josephson en vue de la conservation du volt (Cabine blindée, jonctions, etc.)	60
<i>Photométrie.</i> — Études courantes. Installations de mesure	60
<i>Rayons X et γ.</i> — Comparaison d'étalons d'exposition à ceux du BIPM: domaine des rayons X de faible énergie (ETL, Japon; OMH, Hongrie) et rayonnement γ du ⁶⁰ Co (OMH)	60
Modification du dispositif de mise en place des chambres d'ionisation dans le faisceau de rayons γ du ⁶⁰ Co	62
Variation du courant d'ionisation massique en fonction de la pression dans une chambre à cavité soumise au rayonnement γ du ⁶⁰ Co	63
Mesure de la dose absorbée produite dans un fantôme de graphite par le rayonnement γ du ⁶⁰ Co	63
Détermination de coefficients d'atténuation pour un rayonnement γ de 1,33 MeV (Erreurs systématiques dans la mesure du coefficient d'atténuation de l'aluminium. Mesures d'atténuation par le CCl ₄ et le C ₂ Cl ₄)	65
<i>Radionucléides.</i> — Étalonnage de sources radioactives (Distribution de sources étalons. Mesures de périodes radioactives (⁵⁴ Mn, ⁶⁰ Co). Amélioration des sources de ⁵⁴ Mn. Comparaison d'une solution de ⁵⁴ Mn. Mesures par coïncidences $4\pi\beta$ - γ de radionucléides à schéma de désintégration complexe)	67
Problèmes de la micropesée (Comparaison internationale de pesées de masses de 20, 50 et 100 mg. Étalonnage de la microbalance M 5. Essais d'un nouveau type de microbalance)	71
Chambre d'ionisation $4\pi\gamma$	72
Phénomènes aléatoires et statistiques de comptage (Détection de la présence d'un temps mort perturbateur. Séparation expérimentale entre impulsions individuelles et paires)	73
Spectrométrie α (Mesure absolue de l'énergie du ¹⁴⁸ Gd et du ²¹⁰ Po. Étude de la forme des raies. Catalogue de valeurs recommandées d'énergies et d'intensités α)	77

<i>Mesures neutroniques.</i> — Étude des sphères modératrices avec compteur à trifluorure de bore (Conditions expérimentales : source de neutrons et détecteurs de normalisation ; sphère de polyéthylène avec compteur à BF_3 . Résultats expérimentaux pour les sphères de 25,4 cm et de 20 cm)	79
Publications du B. I. P. M.	86
Publications extérieures	87
Rapports internes	87
Certificats et Notes d'étude	89
IV. ACTIVITÉS ET RELATIONS EXTÉRIEURES	91
Documentation ; Système International d'Unités	91
Travaux en liaison avec des organismes internationaux et nationaux	91
Voyages, visites, conférences et exposés du personnel	91
Visites et stages au B. I. P. M.	93
V. COMPTES	95
5 ^e Rapport du Comité Consultatif pour la Définition du Mètre au Comité International des Poids et Mesures, par W. R. C. Rowley	98
INDEX	117

IMPRIMERIE DURAND
28600 LUISANT (FRANCE)

Dépôt légal, Imprimeur, 1974, n° 06
ISBN 92-822-2029-X

ACHEVÉ D'IMPRIMER LE 11-7-1974

Imprimé en France