

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

PROCÈS - VERBAUX

DES SÉANCES

2^e SÉRIE — TOME 42

63^e SESSION — 1974

(24-26 septembre)



BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

Pavillon de Breteuil, F-92310 SÈVRES, France

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

ISBN 92-822-2035-4

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 (43 520 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 1974, 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.), Égypte, Espagne, Finlande, France, Hongrie, Inde, Indonésie, Irlande, Italie, Japon, Mexique, Norvège, Pakistan, Pays-Bas, Pologne, Portugal, 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 26 SEPTEMBRE 1974

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 de São Paulo, 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, Németsvölgyi 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, Directeur du National Measurement 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. Y. SAKURAI, Directeur du National Research Laboratory of Metrology, 10-4, 1-Chome, Kaga, Itabashi-ku, *Tokyo*.
14. M. SANDOVAL VALLARTA, Membre de la Commission Nationale de l'Énergie Nucléaire, Insurgentes Sur 1079, *Mexico*, D. F.
15. K. SIEGBAHN, Directeur de l'Institut de Physique, Box 530, 75121 *Uppsala* 1 (Suède).
16. U. STILLE, Président de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 33 *Braunschweig*.
17. J. STULLA-GÖTZ, Ancien Président du Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Gentzgasse 3, 1180 *Wien*.
18. A. R. VERMA, Directeur du National Physical Laboratory of India, Hillside Road, *New Delhi* 12.

Membres honoraires

1. A. V. ASTIN, Director-Emeritus, 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.
-

LISTE DU PERSONNEL

DU

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

AU 1^{er} JANVIER 1975

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,
T. Witt, V. D. Huynh, 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

J. Gaillard.

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

A. Gama.
3 employés (contractuels).

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

ORDRE DU JOUR DE LA SESSION

1. Ouverture de la session; quorum; approbation de l'ordre du jour.
 2. Rapport du Secrétaire du Comité.
 3. Programme de travail et dotations du B.I.P.M. pour 1977 à 1980.
 4. Rapports des Comités Consultatifs (C.C.T., C.C.D.S., C.C.U.); réunions futures.
 5. Ordre du jour de la 15^e C.G.P.M. (mai 1975); projets de résolutions scientifiques; exposés à préparer.
 6. Travaux du B.I.P.M.
 7. Questions administratives.
 8. Visites des laboratoires et du Dépôt des prototypes métriques.
 9. Questions diverses.
-

63^e SESSION (SEPTEMBRE 1974)

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

TENUES A SÈVRES

Présidence de Mr J. V. DUNWORTH

Le Comité International s'est réuni pour sa 63^e session les mardi 24, mercredi 25 et jeudi 26 septembre 1974. Il a tenu cinq séances au Pavillon de Breteuil.

Étaient présents : MM. AMBLER, DE BOER, CINTRA DO PRADO, DUNWORTH, HONTI, MARÉCHAL, PERLSTAIN, PRESTON-THOMAS, SAKURAI, SANDOVAL VALLARTA, SIEGBAHN*, STILLE, STULLA-GÖTZ, TERRIEN (directeur du B.I.P.M.) et GIACOMO (sous-directeur).

Mr VOLET, directeur honoraire du B.I.P.M., a assisté à la première séance.

Interprètes : MM. Oboukhov, Sakuma et Vigoureux.

Excusés : MM. OTERO, LEHANY, ISSAEV.

Absents : MM. DJAKOV, VERMA.

Secrétaire : Mlle Monprofit.

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

Mr *Dunworth*, Vice-Président, ouvre la séance en informant le Comité que le Président Otero n'a pu, pour des raisons de santé, faire le voyage jusqu'à Paris et l'a en conséquence prié de diriger les travaux de la présente session. Mr *Dunworth* propose qu'un télégramme de sympathie soit adressé à Mr Otero au nom de l'ensemble du Comité réuni.

Mr *Dunworth* demande l'approbation du Comité pour que Mr Vigoureux qui l'a accompagné puisse assister aux séances et assurer en cas de besoin

* Mr Siegbahn s'était excusé pour la deuxième séance.

des traductions anglais-français ou l'inverse. La même demande est faite pour que Mr Sakuma (B.I.P.M.) serve d'interprète à Mr Sakurai pour le japonais.

Des excuses ont été adressées par Mr Lehany qui ne pourra être présent à cette session. Mr Issaev a fait parvenir une lettre indiquant que, pour des raisons de santé, il ne lui est pas possible de faire le voyage jusqu'à Sèvres et demandant au Comité que son interprète habituel, Mr Oboukhov qui est également métrologue, soit autorisé à assister aux séances du Comité International afin de pouvoir lui rendre compte dans les meilleurs délais des travaux de la présente session. L'ensemble du Comité donne son accord. Mr *Dunworth* invite donc Mr Oboukhov à suivre les travaux du Comité et il le prie de transmettre à Mr Issaev les vœux de tous ses collègues pour un prompt rétablissement.

Aucune nouvelle n'a été reçue de Mr Djakov et de Mr Verma.

Après avoir souhaité la bienvenue à Mr Sakurai qui participe pour la première fois au Comité après son élection en mars 1974 au siège laissé vacant par Mr Tomonaga démissionnaire, Mr *Dunworth* rappelle avec regret que depuis la dernière session on a appris le décès de J. Nussberger, ancien membre du C.I.P.M. ⁽¹⁾; une lettre de condoléances est adressée à sa veuve au nom du Comité.

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

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

2. Rapport du Secrétaire du Comité

(1^{er} octobre 1973 — 24 septembre 1974)

1. *États membres de la Convention du Mètre.* — Le Pakistan, qui a adhéré à la Convention du Mètre en 1973, a maintenant acquitté sa contribution d'entrée et sa première contribution annuelle.

En ce qui concerne la République Démocratique Allemande, sans attendre l'achèvement des formalités nécessaires vis-à-vis de la Puissance dépositaire du traité de la Convention du Mètre (ces formalités sont déjà accomplies pour le traité instituant l'Organisation Internationale de Métrologie Légale), et malgré ses cotisations arriérées,

⁽¹⁾ Né le 29 juin 1899, le Dr Jaroslav Nussberger avait fait ses études à Prague et des stages dans plusieurs instituts métrologiques (Berne, Vienne, Berlin, Varsovie, Helsinki), ainsi qu'au B.I.P.M. dans les années 1926-1938. Il fut professeur à l'Université Charles IV, à l'École Polytechnique, et fut nommé directeur du Service métrologique tchécoslovaque en 1949, fonction qu'il occupa jusqu'en 1956. Nommé membre du C.I.P.M. en 1953, il participa à tous ses travaux jusqu'en 1970, date de sa démission. Il fut aussi membre du Comité International de Métrologie Légale de 1956 à 1958 et exerça les fonctions de conseiller scientifique de l'Académie des Sciences à Bratislava et de l'Institut métrologique tchécoslovaque.

Le décès de J. Nussberger, survenu le 30 juin 1974, est une grande perte pour la métrologie tchécoslovaque. Le C.I.P.M. garde le souvenir de son ancien collègue qui avait toujours montré un vif intérêt à ses travaux et à ceux du B.I.P.M.

nous considérons maintenant cet État de la même façon que les autres États membres. Le nombre des États membres reste quarante-trois.

2. Membres du Comité International

Démission. — Mr Y. Tomonaga, ayant reçu au Japon de nouvelles fonctions qu'il estimait trop éloignées de la métrologie, a offert sa démission par une lettre du 6 novembre 1973 adressée au Président du Comité International. Mr Tomonaga, depuis son élection en avril 1967, avait participé à la plupart de nos sessions; il étudiait attentivement les questions intéressant notre Comité, et nous avons pu apprécier la lucidité de son intelligence des questions scientifiques et des questions administratives. Nous le voyons partir avec regret.

Élection. — A la suite d'un vote par correspondance à scrutin secret, Mr Y. Sakurai a été élu le 5 mars 1974 membre du Comité International au siège rendu vacant par le départ de Mr Tomonaga. Mr Y. Sakurai est directeur du National Research Laboratory of Metrology à Tokyo.

3. *Réunions de Comités Consultatifs.* — Le Comité Consultatif de Thermométrie a tenu sa 10^e session sous la présidence de Mr H. Preston-Thomas (14-16 mai 1974).

Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde a tenu sa 7^e session sous la présidence de Mr J.V. Dunworth (9-11 juillet 1974).

Le Comité Consultatif des Unités a tenu sa 4^e session sous la présidence de Mr J. de Boer (18-20 septembre 1974).

Les rapports de ces trois Comités Consultatifs sont publiés en annexes de cette 63^e session du C.I.P.M.

4. *Bureau du Comité International.* — Parmi les questions dont le bureau du Comité a eu à s'occuper, voici les plus importantes :

— Quel doit être le budget du B.I.P.M. dans les quatre années 1977-1980, et quelles dotations doit-on demander à la 15^e Conférence Générale? A cause du rythme accru de l'inflation en France et dans d'autres pays, les prévisions sont anormalement incertaines; une lettre du directeur du B.I.P.M. du 10 juin 1974, invitant tous les membres du Comité International à exprimer leur avis, a suscité plusieurs réponses très utiles.

— La mise au point finale des compléments au règlement du personnel du B.I.P.M., après discussion à notre session d'octobre 1973, avait été confiée à MM. Terrien et de Boer qui ont achevé de donner au projet sa forme définitive.

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 :

	1971	1972	1973	1974
Fonds ordinaires	1 705 698,88	1 917 679,20	2 673 129,92	2 979 898,93
Caisse de Retraites	287 973,41	368 624,23	444 635,53	544 116,71
Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique	8 663,59	21 763,59	21 763,59	39 465,59
Caisse de prêts sociaux				4 316,88
Totaux	2 002 335,88	2 308 067,02	3 139 529,04	3 567 798,11

Le bureau du Comité estime prudent de maintenir l'actif à un niveau suffisant pour qu'il équivaille, au début de chaque année, à au moins 75 % du budget de l'année abordée.

A la suite de cette lecture, Mr *Stille* demande si la République Fédérale d'Allemagne doit faire des démarches officielles pour le changement du nom de son pays, ou bien si ce changement se fera automatiquement. Mr *Terrien* répond que pour le B.I.P.M. il n'y a aucune démarche à faire.

Le B.I.P.M. a adopté la dénomination de République Fédérale d'Allemagne.

Mr *Cintra do Prado* demande si la base de conversion pour le franc-or est toujours la même. Mr *Terrien* rappelle que cette indication est donnée chaque année dans la Notification des Parts Contributives qui est envoyée à tous les Gouvernements. Le franc-or est lié à l'équivalent en or légal du dollar. Il n'y a pas de changement officiel depuis 1973. Mr *Sandoval Vallarta* demande si les monnaies non convertibles sont incluses dans les fonds ordinaires; Mr *Terrien* répond par l'affirmative.

3. Programme de travail et dotations du B.I.P.M. pour la période 1977-1980

Mr *Dunworth* souligne que c'est le point le plus difficile des problèmes que le C.I.P.M. doit aborder et il souhaite recueillir les suggestions des participants. Nous nous trouvons dans une situation d'instabilité monétaire. Il n'est pas réaliste de penser qu'une évaluation des besoins financiers du B.I.P.M. faite maintenant pour être présentée à la Conférence Générale serait encore valable en 1980.

Le bureau du C.I.P.M. est d'accord sur une première proposition : celle de maintenir constant le personnel du B.I.P.M. La seconde proposition vise à discuter une fois par an la situation financière du B.I.P.M. Il faudrait alors créer une commission comprenant des personnalités habituées à discuter ces questions et Mr *Dunworth* invite les membres du Comité à réfléchir sur ces propositions.

Mr *Terrien* souligne le côté préoccupant de l'avenir du B.I.P.M. Il avait écrit aux membres du Comité International au début de juin 1974 pour faire quelques propositions, mais la situation a évolué depuis lors de telle façon qu'elle rend caduques ces propositions. La situation est très différente de ce qu'elle était lors des précédentes Conférences Générales et l'instabilité actuelle fait que les prévisions sont impossibles. A une situation nouvelle, il faut une solution nouvelle. C'est au Comité d'imaginer cette solution. On pourrait demander à la Conférence Générale, c'est-à-dire aux Gouvernements des 43 États membres, qu'elle accorde le pouvoir à un certain groupe ou à une certaine commission d'examiner chaque année quelle doit être la dotation financière du B.I.P.M. pour l'année suivante. Il ne s'agit pas de donner à ce groupe des pouvoirs discrétionnaires. Il conviendrait d'établir une formule qui permette de calculer la dotation en fonction de certains indices officiels.

Mr *Ambler* demande si ce groupe aurait autorité pour fixer le niveau de la dotation ou s'il devrait faire des propositions à la C.G.P.M.

Mr *Dunworth* fait remarquer qu'il serait difficile d'envisager la convocation de la C.G.P.M. chaque année, aussi faut-il une méthode précise de calcul de la dotation.

Mr *de Boer* pense que le C.I.P.M. pourrait, dans les mois qui viennent, mettre au point une formule sur laquelle la C.G.P.M. aurait à se prononcer. On pourrait s'inspirer de ce qui se fait au C.E.R.N. dont le comité financier se réunit tous les six mois pour calculer les indices. Ces indices portent sur les salaires, les produits manufacturés et les matières premières.

Mr *Perlstain* appuie cette proposition qui lui paraît une méthode assez souple et réaliste.

Mr *Cintra do Prado* appuie la proposition de Mr de Boer concernant la formule des indices. Bien que le C.E.R.N. soit une organisation européenne, son exemple peut servir de point de départ pour les discussions. Il faut que les États membres soient d'accord avec la formule. Du point de vue pratique il serait souhaitable que le groupe envisagé ne soit pas très nombreux; il devrait comprendre au maximum neuf personnes, y compris le bureau du Comité, pour que le travail soit plus efficace.

Sur la demande de Mr *Stulla-Götz*, Mr *de Boer* donne le détail de la formule utilisée par le C.E.R.N.

Cette formule comprend plusieurs indices: un indice du coût de la vie qui tient compte de l'inflation en Suisse; dans notre cas cet indice devrait être celui de la France. Un indice des salaires réels, l'augmentation de ceux-ci dépendant de la richesse du pays considéré; pour cet indice on utilise la moyenne des augmentations dans plusieurs pays européens et non pas seulement en Suisse. Un indice des produits manufacturés qui est fourni avec deux ans de retard par l'O.N.U.; c'est un indice mondial. Un indice des fabrications spéciales qui dépend du prix des matières premières et des salaires, puisqu'il s'agit d'équipement spécialement fabriqué par le laboratoire; l'indice pour les matières premières et les matériaux de construction est fourni par l'O.N.U. Chacun de ces indices est affecté d'un poids selon son importance relative dans le budget, et leur moyenne pondérée sert au calcul du budget de l'année suivante.

Mr *Sandoval Vallarta* reste sceptique sur les possibilités de prévoir l'avenir. Une formule comme celle qui vient d'être exposée a peut-être résolu les problèmes au cours des cinq dernières années; il ne lui paraît pas évident qu'elle le permette pour les cinq années à venir.

Mr *Stille* exprime sa satisfaction d'avoir entendu ces propositions. En effet, après des consultations et des discussions tout à fait préliminaires avec les représentants des ministères compétents de son Gouvernement, il avait l'impression que celui-ci hésitait beaucoup à donner son accord dès maintenant sur des dotations échelonnées allant jusqu'à 1980, car il est impossible d'avoir la moindre certitude sur la progression de l'inflation jusque-là.

Mr *Preston-Thomas* remarque qu'une formule inspirée de celle du C.E.R.N. ne laisserait aucune liberté d'action au C.I.P.M., sinon la tâche du calcul automatique de la dotation. Il souligne que la formule utilisée

doit être extrêmement bien présentée pour pouvoir être acceptée par la C.G.P.M. Il rappelle qu'il n'est pas facile d'obtenir l'unanimité à la C.G.P.M. Certains États peuvent faire des réserves, ce qui créerait des difficultés.

Mr *Honti* est tout à fait d'accord avec Mr Preston-Thomas. La proposition de calculer la dotation au moyen d'une formule telle que celle qui a été présentée est quelque chose de tout à fait nouveau. Ce le sera aussi pour la plupart des délégués à la C.G.P.M. et des autorités financières des États. Le système qui fonctionne au C.E.R.N. n'est pas connu dans les pays qui ne sont pas membres de cet organisme.

Mr *Preston-Thomas* pense qu'il sera difficile de faire accepter aux États de payer des sommes qui sont fixées par une commission où ils ne sont pas représentés. Il faut par conséquent une indexation automatique.

Sur une question de Mr Siegbahn, Mr *Terrien* répond qu'à l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique la Conférence vote le budget chaque année. A l'UNESCO la Conférence a lieu normalement tous les deux ans, mais au moment de la dévaluation du dollar une Conférence extraordinaire a dû être convoquée un an après la Conférence normale.

Mr *Preston-Thomas* ayant fait remarquer que la commission financière envisagée aurait une tâche purement mécanique de calcul sans aucune initiative, Mr *Terrien* répond qu'il pourrait se produire que son initiative soit nécessaire; par exemple, il peut arriver que certains indices disparaissent et qu'il faille les remplacer par de nouveaux indices à choisir. Il y aurait là une part d'initiative qui pourrait être confiée à cette commission.

Mr *Terrien* rappelle que les salaires du personnel du B.I.P.M. sont fixés dans une unité qui est le point-or. Chaque trimestre, on multiplie le salaire de base en points-or par le dernier indice connu fourni par l'Institut National de la Statistique et des Études Économiques (I.N.S.E.E.). Un graphique est présenté sur lequel sont portés les indices pour les années 1971 à 1974; jusqu'à la fin de 1973, ce graphique montre une progression régulière (7,2 % par an) de l'indice, mais pour les quatre indices de 1974 on constate une discontinuité dans la pente de la courbe, l'accroissement pour 1974 étant de 15,7 %. Il s'agit là d'un indice officiel, calculé pour le personnel des organisations internationales en France, et qui traduit seulement les prix à la consommation; mais de plus, ces dernières années, le C.I.P.M. a accordé une augmentation supplémentaire des salaires d'environ 2 % par an pour tenir compte de l'accroissement du pouvoir d'achat et du niveau de vie.

Mr *de Boer* remarque que l'indice qui dénote le niveau de vie est différent dans les divers pays. Il serait donc utile de donner des poids aux indices des différents pays qui contribuent à l'entretien du B.I.P.M.

Au C.E.R.N. cet indice est une moyenne pondérée des indices des six pays, les poids correspondant à la contribution au C.E.R.N.

Mr *Dunworth* note cependant que la plupart des membres du B.I.P.M. sont français. Leur situation doit donc être comparable à ce qu'elle serait dans un organisme français. Si cet indice était très différent en France, il faudrait en tenir compte.

Mr *Sandoval Vallarta* souligne qu'il y a deux aspects à considérer, l'aspect économique et technique mais aussi l'aspect politique. Les Gouvernements n'aiment pas reconnaître qu'il existe une inflation dans leur pays. Il faut tenir compte de cet aspect.

Mr *Stille* pense qu'avec la proposition d'une formule de calcul comme celle qui a été présentée, cet aspect politique perd de sa valeur. En effet, cela permet de ne pas avouer que l'inflation risque d'être permanente et de persister dans les années à venir.

Mr *Preston-Thomas* remarque que le personnel du B.I.P.M. doit vivre en France, alors qu'au C.E.R.N. le personnel est moins fixe et plus international. Si l'on se sert d'un indice pour le niveau de vie, ce devrait être l'indice applicable en France.

Cette remarque, dit Mr *Terrien*, est juste car non seulement la majeure partie du personnel du B.I.P.M. est de nationalité française, mais les physiciens de nationalité différente restent de nombreuses années en France. En conséquence, toute référence au niveau de vie en France doit en effet avoir le plus grand poids.

Mr *Honti* estime impossible de pouvoir refléter la situation qui existe dans les 43 États membres de notre Organisation; cela ne serait pas réalisable. Dans ce cas, si on ne les prend pas tous, lesquels prendre? Il paraît donc préférable de se référer à la situation en France.

Mr *de Boer* est tout à fait d'accord pour que l'on suive le niveau de vie en France. Mais c'était un point qui devait être discuté au sein du Comité de façon nette.

A une demande de Mr *Sandoval Vallarta*, Mr *de Boer* répond que le budget du C.E.R.N. est calculé en francs suisses.

Mr *Stille* indique que le Ministère des Finances de son pays a demandé s'il ne serait pas possible d'utiliser, à la place du franc-or, les droits de tirage spéciaux du fonds monétaire international. La valeur de ces droits est une moyenne de seize devises.

Mr *Dunworth* pense que c'est une question qui devrait être traitée dans des cercles plus généraux; si certaines autres organisations adoptaient ce système, ce serait plus facile; sinon, il est à craindre que la Conférence Générale n'accepte pas cette proposition.

Mr *de Boer* expose que jusqu'ici il a été accordé à notre organisation un accroissement minimal annuel de la dotation de 9 %. Mais il a toujours

été difficile, en particulier pour l'U.R.S.S., de dépasser ces 9 %. C'est pourquoi le pourcentage additionnel peut être payé en monnaie nationale. On peut craindre que l'U.R.S.S. ne fasse des difficultés si le pourcentage total dépasse 9 %. On pourrait donc fixer un minimum d'accroissement de 9 % payable en monnaie convertible, le solde étant payable en monnaie non convertible.

Mr *Stille* aimerait savoir quels seraient ces pourcentages maintenant. Mr *de Boer* affirme que de toute façon on est au-dessus de 9 %; le chiffre donné par Mr *Terrien* pour l'indice de l'I.N.S.E.E. atteint déjà 15,7 %, même sans tenir compte d'une élévation du niveau de vie. Mr *Terrien* tient à ajouter une dernière précision au sujet des salaires et des dépenses de personnel du B.I.P.M. Le Comité a adopté un règlement qui accorde au personnel une augmentation automatique d'ancienneté d'environ 1,5 % par an jusqu'à une certaine limite. La plus grande partie du personnel aura droit à recevoir cette augmentation de 1,5 % qui s'ajoute aux 15,7 % précédents.

En conclusion, Mr *Dunworth* considère que laisser les États payer en monnaie non convertible au-dessus de 9 % ne serait pas une bonne proposition. Il pense qu'il est essentiel que les membres du Comité soient d'accord sur la façon de présenter la situation devant la C.G.P.M. A cet égard, il déplore l'absence de Mr *Issaev* qui prive le Comité de ses conseils. Il propose, à la suite d'une conversation privée qu'il a eue avec Mr *Oboukhov*, que soit demandé à Mr *Issaev* et peut-être même à un conseiller financier soviétique de venir s'entretenir avec le bureau du Comité dans quelque temps. Il pourrait ensuite en résulter un document qui serait soumis par correspondance aux membres du Comité et qui, après leur approbation, serait envoyé aux États.

Par mesure de précaution au cas où il ne serait pas possible d'arriver à un accord par correspondance, Mr *Terrien* suggère de réserver soit le vendredi 28 février 1975, soit le vendredi 7 mars 1975, pour convoquer si cela était nécessaire une session extraordinaire du C.I.P.M.

Dans l'immédiat, Mr *Terrien* enverra une lettre de Convocation à la Conférence Générale aux Ambassades des pays membres de la Convention du Mètre, pour prendre date et pour donner les principes sur lesquels le Comité est jusqu'ici d'accord en vue de la fixation du budget, en attendant le document plus complet qui donnera la formule d'indexation imitée de celle du C.E.R.N., pour le calcul de la dotation du B.I.P.M. en fonction des indices statistiques. L'envoi aux Ambassades de la Convocation à la C.G.P.M. se fera donc en deux temps.

Mr *Sandoval Vallarta* insiste pour que lors de la présentation du budget devant la Conférence Générale on ne craigne pas de répéter des arguments qui ont été avancés devant le C.I.P.M. Au cours de Conférences antérieures on s'était peut-être trop contenté de dire que le Comité avait étudié la situation.

Mr *Stille* souhaite, quant à lui, que l'on donne des arguments sur l'importance du B.I.P.M. soit pour la science, soit pour les applications de la métrologie dans l'industrie et le commerce.

Mr *Dunworth* partage ce souci de présentation.

4. Rapports des Comités Consultatifs Réunions futures. Composition

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

Le C.C.T. s'est réuni pour sa 10^e session, du 14 au 16 mai 1974, sous la présidence de Mr Preston-Thomas (Rapport p. T 1). Il avait une tâche importante à accomplir (rédaction d'une édition amendée de l'E.I.P.T.-68) qui a demandé des prolongations par correspondance après la session.

Mr *Preston-Thomas* rappelle en effet qu'à sa 9^e session (1971) le C.C.T. avait conclu à la nécessité de modifier le texte de l'E.I.P.T. Il avait alors adopté la méthode de travail suivante : des Groupes de travail comprenant quatre membres étaient chargés de tâches précises en vue de cette version révisée de l'E.I.P.T. Il en est résulté qu'à sa session de mai 1974, le C.C.T. a été en mesure de préparer cette nouvelle version qui tient compte des connaissances acquises depuis 1967, la modification essentielle portant sur la présentation de l'Échelle. Il s'agit en effet d'une version révisée et non d'une Échelle de remplacement. C'est ainsi que dans cette nouvelle version on ne trouvera aucune modification de la valeur des températures. Enfin, lors de sa dernière session le C.C.T. a modifié la composition de ses Groupes de travail, en particulier de celui qui est chargé des basses températures.

En thermométrie il y a un problème d'information. Il serait souhaitable que les résultats des travaux et les comptes rendus des Groupes de travail soient mis à la disposition d'un plus large public et pour cela qu'ils soient par exemple publiés dans *Metrologia*.

Mr *Stille* remarque que l'Échelle est divisée en plusieurs domaines ayant des définitions distinctes, ce qui conduit à des discontinuités dans les dérivées d'ordre supérieur des grandeurs mesurées en fonction des températures de l'E.I.P.T. Il lui semble utile par conséquent d'ajouter dans le texte de l'E.I.P.T. une remarque à ce sujet. Mr *Terrien* rappelle que cela n'est pas une situation nouvelle, que de telles discontinuités existaient déjà dans les Échelles de 1927 et de 1948. Ce fait n'était pas explicité, car il est évident.

Mr *de Boer* souligne que l'E.I.P.T. est une approximation. Elle est définie par domaine. Une consultation sera faite auprès des membres du C.C.T. pour leur demander s'ils sont d'accord pour qu'une note de bas de page soit ajoutée à ce sujet.

Dans la Recommandation T 1 (1974) présentée au C.I.P.M. (*voir* p. T 37), plusieurs points reprennent des recommandations approuvées

antérieurement. Les problèmes mentionnés gardent tout leur intérêt et les laboratoires ont besoin de ces recommandations dans certains cas pour pouvoir poursuivre les études dans ces domaines.

Au sujet du point 2 de la Recommandation T 1, Mr *Preston-Thomas* souligne que la recherche de points fixes est fort difficile et coûteuse. Mr *Dunworth* aurait souhaité que l'on mentionne aussi dans cette Recommandation la nécessité de trouver d'autres points fixes. C'est sans doute difficile pour le C.I.P.M. de modifier une recommandation adoptée sans la soumettre à nouveau pour accord aux membres du C.C.T. Mais l'ensemble du C.I.P.M. est d'accord pour reconnaître que cette question de recherche de nouveaux points fixes est fondamentale.

Les points 3, 4 et 5 de la Recommandation T 1 sont faits en vue d'obtenir le maximum d'informations pour un remplacement futur de l'Échelle de 1968. Mr *Dunworth* tient à souligner fortement que le C.I.P.M. a le sentiment qu'il y a beaucoup à faire et que les progrès à effectuer dans les trois domaines concernés par cette Recommandation sont importants; il craint que cet aspect n'ait pas été assez fortement marqué dans la Recommandation. Mr *Terrien*, qui a assisté aux débats du C.C.T., a pu constater que les membres du C.C.T. sont parfaitement conscients de l'importance du travail à accomplir.

Les différents points de la Recommandation T 1 (1974) sont approuvés par le C.I.P.M.

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

Mr *Dunworth*, qui est aussi président du C.C.D.S. dont la 7^e session s'est tenue du 9 au 11 juillet 1974, donne la parole à Mr *Terrien* pour présenter le rapport définitif de ce Comité Consultatif (voir p. S 1) qui tient compte des dernières observations faites par les membres participants.

Les recommandations du C.C.D.S. sont lues et discutées les unes après les autres.

Au sujet de la Recommandation S 1 une discussion s'engage à propos de la première note explicative autorisant l'emploi de UT à la place de UTC. Mr *Stille* hésite à adopter l'abréviation UT car UT peut désigner des temps astronomiques différents : UT0, UT1, UT2.

Mr *Terrien* fait remarquer que seule la recommandation est à approuver par le C.I.P.M.; les notes explicatives ne font pas partie de la recommandation elle-même. Pour Mr *Dunworth* la portée de cette note reste limitée; le C.C.D.S. prend seulement note des avantages qu'il y a d'utiliser UT à la place de UTC lorsqu'il n'y a pas crainte de confusion. Pour Mr *Ambler* il y a plus que des explications dans les dites notes explicatives.

Mr *Stille* tient à ce que ces réticences soient portées au présent Procès-Verbal.

Une légère modification rédactionnelle est suggérée à la Recommandation S 2; elle est acceptée par Mr *Dunworth* au nom du C.C.D.S. Mr *Terrien* transmettra le texte en question à l'U.A.I.

A propos de la Recommandation S 3, Mr *Sandoval Vallarta* demande des explications sur l'expression « les possibilités du réseau Loran-C en matière d'exactitude ne sont peut-être pas toujours mises à profit ». Mr *Terrien* répond que les mots « peut-être » expriment la réalité de particularités subtiles qui existent dans la réception du Loran-C, dont il est tenu compte dans l'établissement du TAI.

Au sujet de la Recommandation S 4, Mr *Dunworth* indique que le B.I.H. doit reprendre la question avec le C.C.D.S. et déterminer si un réajustement doit être fait dans la fréquence du TAI. S'il doit en être ainsi, l'ensemble du C.I.P.M. préfère en tout cas que ce réajustement soit unique.

Les conclusions du C.C.D.S. sont approuvées, compte tenu de l'amendement à la Recommandation S 2 et des remarques concernant la Recommandation S 4.

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

Mr *de Boer* présente le rapport du C.C.U. qui s'est réuni sous sa présidence du 18 au 20 septembre 1974 pour sa 4^e session (Rapport p. U 1); ce rapport n'ayant pas encore été soumis aux membres participants, il est donc remis au C.I.P.M. sous sa forme provisoire.

Parmi les conclusions des travaux du C.C.U. on doit signaler la proposition d'adoption des préfixes SI *peta* et *exa*, avec les symboles P et E, pour les multiples 10^{15} et 10^{18} respectivement, et la Recommandation U 1 (1974) relative à l'introduction de deux noms spéciaux: le *becquerel* (symbole Bq) pour l'unité SI d'activité et le *gray* (symbole Gy) pour l'unité SI de dose absorbée.

Mr *de Boer* indique qu'il est souhaitable que les considérants de la Recommandation U 1 soient reproduits dans le projet de résolution qui sera présenté à la 15^e Conférence Générale, car les raisons, particulièrement péremptoires, sont données pour l'introduction de ces deux noms spéciaux. En effet, la règle générale étant de ne pas introduire de nouveaux noms spéciaux pour les unités SI, cela appelle des justifications.

L'unité SI d'activité est la seconde à la puissance moins un; les multiples de cette unité sont des sous-multiples à la puissance moins un; ces deux aspects ne sont pas compréhensibles pour le personnel des hôpitaux. Il faut donc un nom aussi facile à utiliser que le curie. De même, le nom joule par kilogramme, unité de dose absorbée, serait certainement amputé ou mal interprété; il faut donc un nom aussi simple que le rad. Pour que l'usage du SI s'introduise en ces domaines, et pour ne pas risquer des erreurs aux conséquences dramatiques pour les malades, des noms spéciaux simples sont indispensables.

Mr *Sandoval Vallarta* rappelle que pour l'activité le curie est très en usage. Il est d'accord pour que l'on substitue le becquerel au curie, mais il souhaite que soit donnée l'équivalence : $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$.

Au sujet du nom spécial « gray » proposé pour l'unité SI de dose absorbée, le Comité décide, à la suite d'une question posée par Mr *Sandoval Vallarta*, de porter à la connaissance de la Conférence Générale par une brève notice l'œuvre importante du physicien anglais L. H. Gray dans le domaine de la dosimétrie et des unités des rayonnements ionisants.

En ce qui concerne les préfixes peta et exa, sans s'opposer à cette proposition, Mr *Preston-Thomas* voudrait voir une limite imposée au nombre des nouveaux préfixes. Il souhaiterait au moins que l'on utilise des mots voisins pour indiquer les puissances positives et les puissances négatives.

Mr *de Boer* répond que ce sont les utilisateurs qui font ces demandes d'introduction de nouveaux préfixes, car ils en ont vraiment besoin. La question des noms voisins pour les préfixes selon qu'il s'agit de puissances positives ou négatives a été abordée au C.C.U. Dans le cas présent des noms existent déjà pour les puissances négatives. Mais il sera tenu compte de ce souhait si le C.C.U. est amené à considérer de nouveaux noms pour des puissances supérieures.

MM. *Stille* et *Sandoval Vallarta* regrettent aussi de voir s'allonger la liste des préfixes.

Mr *de Boer* donne lecture des conclusions du C.C.U. (p. U 17). Au sujet de la deuxième conclusion, il rappelle qu'avec certaines unités SI on ne peut utiliser directement les préfixes, par exemple $k(m^{-1})$; pour échapper à cette difficulté on pourrait créer un nom spécial pour m^{-1} ; on pourrait aussi dans cet exemple utiliser l'expression kI/m dans laquelle le symbole I (le chiffre romain « un ») signifie 1 et peut recevoir des préfixes SI. Cette conclusion fera peut-être l'objet d'une recommandation dans l'avenir.

La troisième conclusion répond à des demandes de certains éditeurs qui tiennent à utiliser le SI.

La cinquième conclusion n'est que la confirmation de l'usage.

Après cet exposé, le C.I.P.M. approuve les conclusions et la Recommandation U 1 (1974) du C.C.U.

Réunions futures

Mr *Terrien* indique les dates des futures réunions des Comités Consultatifs :

C.C.E.M.R.I. $\left\{ \begin{array}{l} \text{Section III du 7 au 9 octobre 1974;} \\ \text{Section I à partir du 7 avril 1975;} \\ \text{Section II à partir du 21 avril 1975.} \end{array} \right.$

En ce qui concerne le C.C.E., son président Mr *Lehany* souhaite le

réunir dans la semaine du 19 au 26 mai 1975. Sauf objection, les convocations seront envoyées prochainement.

Pour le C.C.P.R., les laboratoires membres consultés se sont prononcés à une forte majorité pour tenir la 8^e session de ce Comité Consultatif au début de septembre 1975, juste avant la 18^e session de la Commission Internationale de l'Éclairage.

Composition des Comités Consultatifs

Mr *Terrien* indique que de temps en temps il reçoit des demandes de laboratoires qui souhaitent être inscrits sur la liste des membres des Comités Consultatifs. On estime qu'il ne serait pas raisonnable de laisser croître le nombre des participants aux Comités Consultatifs. Néanmoins il y a des laboratoires qui font de grands progrès. Par exemple, en photométrie, l'Istituto Galileo Ferraris à Turin (Italie), fait des déterminations de la candela au moyen du corps noir au point de congélation du platine. Aux Pays-Bas, le laboratoire Van Swinden travaille beaucoup en électricité et il a un projet de mise en œuvre de l'effet Josephson.

Il y a également une proposition du N.B.S. d'introduire un météorologiste, le Dr C. Fröhlich, de Davos (Suisse), au C.C.P.R.; en effet, dans les prévisions météorologiques il y a des données de température et d'échange d'énergie de rayonnement.

Mr *Terrien* rappelle que dans le règlement des Comités Consultatifs un article prévoit que la composition de ces Comités est éventuellement réexaminée après chaque Conférence Générale. Dans l'intervalle, le président d'un Comité Consultatif a toujours le loisir d'inviter quelqu'un à la seule condition d'en informer le président du C.I.P.M. C'est une bonne méthode pour donner satisfaction à un éventuel nouveau membre et pour permettre aux autres participants de juger de la qualité de la candidature.

Mr *de Boer* souligne que l'on a quelquefois discuté le fait que le C.I.P.M. comprend seulement dix-huit membres et qu'un grand nombre d'États ne sont pas étroitement liés aux travaux du B.I.P.M. C'est là où le rôle des Comités Consultatifs peut être important. C'est un aspect des choses à prendre en considération.

Mr *Dunworth* met en garde contre la difficulté de travailler lorsque les membres des Comités Consultatifs sont trop nombreux.

En tant que président du C.C.T., Mr *Preston-Thomas* fait part de son expérience. Les membres du C.C.T. sont assez nombreux mais des Groupes de travail ont été créés qui sont limités à quatre ou cinq membres, ce qui permet un travail efficace.

Mr *Dunworth* fait part du désir de Mr Siegbahn de se retirer de la présidence du C.C.E.M.R.I. Au nom du C.I.P.M. il remercie Mr Siegbahn de son action à la tête de ce Comité Consultatif. La présidence de la Sec-

tion IV (Étalons d'énergie α) du C.C.E.M.R.I. reste toutefois confiée à Mr Siegbahn.

Après avoir discuté officieusement avec plusieurs membres du C.I.P.M., Mr Dunworth indique que l'on pourrait demander à Mr Ambler de bien vouloir prendre la présidence de ce Comité Consultatif.

Mr *Ambler* répond que ce serait pour lui un travail supplémentaire et qu'avant d'accepter il désire demander l'accord de Mr Roberts, directeur du N.B.S. (1).

5. Préparation de la 15^e Conférence Générale des Poids et Mesures (mai 1975) :

ordre du jour; projets de résolutions scientifiques; exposés à présenter

A la 15^e C.G.P.M., comme aux Conférences précédentes, il devra être fait un exposé des travaux par le président du C.I.P.M. Il est également d'usage que les présidents des Comités Consultatifs fassent un exposé sur les progrès effectués dans leur domaine depuis la Conférence Générale précédente.

Mr *Terrien* s'adresse à chaque président pour le lui rappeler. Mr Lehany sera invité à préparer un exposé concernant le C.C.E.

La durée de ces exposés devra être d'environ dix minutes.

Le C.I.P.M. présentera aussi à la Conférence des projets de résolutions dans lesquels sont établies d'une façon formelle les décisions principales. Ces projets de résolutions devront être imprimés dans la Convocation qui sera envoyée aux Ambassades.

Comme schéma directeur, Mr *Terrien* a pris les unités de base du SI et à propos de chacune d'elles il a examiné les travaux du Comité Consultatif correspondant afin d'en extraire les décisions qui peuvent être prises par la Conférence Générale ou les invitations à travailler sur certains sujets.

Projet de résolution A(2)

La Quinzième Conférence Générale des Poids et Mesures,
ayant pris connaissance des qualités métrologiques des radiations produites par des lasers à gaz asservis sur une raie d'absorption,

considérant que ces radiations constituent des étalons de longueur d'onde dont la précision et la reproductibilité surpassent celles de la radiation du krypton 86 de la définition du mètre,

estime cependant prématuré d'envisager un changement de la définition du mètre,

demande au Bureau International des Poids et Mesures et aux Laboratoires nationaux de poursuivre leurs recherches sur ces radiations,

et demande au Comité International des Poids et Mesures de coordonner ces recherches.

(1) L'acceptation de Mr Ambler a été reçue ultérieurement.

(2) Adopté par la 15^e C.G.P.M. (Résolution 1).

Projet de résolution B⁽³⁾

La Quinzième Conférence Générale des Poids et Mesures,

considérant l'excellent accord entre les résultats des mesures de longueur d'onde portant sur des radiations de lasers asservis sur une raie d'absorption moléculaire dans la région visible ou infrarouge, avec une incertitude estimée à $\pm 4 \times 10^{-9}$ qui correspond à l'indétermination de la réalisation du mètre,

considérant aussi les mesures concordantes de la fréquence de plusieurs de ces radiations,

recommande l'emploi de la valeur qui en résulte pour la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans le vide $c = 299\,792\,458$ mètres par seconde.

Mr *Terrien* indique qu'il n'y a jamais eu à la Conférence Générale de résolution concernant les techniques se rapportant à l'unité de masse. Il y a pourtant des progrès dans la précision des comparaisons d'étalons de masse. Le B.I.P.M. consacrerait une partie de son temps et de son personnel à étudier le nettoyage des étalons de masse. Il convient de savoir si ces nettoyages usent les étalons. Il y a là un programme de travail qu'il serait utile que la Conférence Générale approuve.

Mr *Dunworth* se demande s'il faut créer un Comité Consultatif qui s'occuperait des masses.

Mr *Terrien* répond qu'il a l'intention d'engager des échanges de vues sur un programme coopératif international dans ce domaine. On verra ultérieurement s'il est nécessaire de créer de façon formelle un Comité Consultatif.

Projet de résolution C⁽⁴⁾

La Quinzième Conférence Générale des Poids et Mesures,

considérant que l'unité de masse, et les unités de toutes les grandeurs qui dépendent de la masse, pour être réalisées exactement, nécessitent l'emploi du Prototype international du kilogramme en platine iridié conservé par le Bureau International des Poids et Mesures depuis 1889,

que pour le moment aucun moyen n'est en vue qui permettrait de définir l'unité de masse en termes de constantes atomiques avec une précision équivalente,

demande au Bureau International des Poids et Mesures et aux Laboratoires nationaux de poursuivre des études visant à améliorer la précision des comparaisons d'étalons de masse,

et *charge* le Bureau International des Poids et Mesures d'organiser ensuite une vérification des étalons nationaux de masse.

Projet de résolution D⁽⁵⁾

La Quinzième Conférence Générale des Poids et Mesures,

ayant pris connaissance des arrangements conclus entre le Bureau Inter-

(³) Adopté par la 15^e C.G.P.M. (Résolution 2).

(⁴) Adopté par la 15^e C.G.P.M. (Résolution 3).

(⁵) Adopté par la 15^e C.G.P.M. (Résolution 4).

national de l'Heure et le Bureau International des Poids et Mesures afin de satisfaire les besoins des utilisateurs du Temps Atomique International TAI,

constate avec satisfaction que le TAI est fourni aux utilisateurs dans de bonnes conditions,

renouvelle sa demande aux institutions nationales et internationales de bien vouloir continuer, et si possible augmenter, l'aide qu'elles donnent au Bureau International de l'Heure,

et demande au Comité International des Poids et Mesures de veiller à maintenir ses relations avec le Bureau International de l'Heure et son Comité directeur en vue de l'amélioration de l'exactitude et de la continuité du TAI.

Projet de résolution E⁽⁶⁾

La Quinzième Conférence Générale des Poids et Mesures,

considérant que le système appelé « Temps Universel Coordonné »* est employé très largement, qu'il est diffusé par la plupart des émetteurs hertziens de signaux horaires, que sa diffusion fournit aux utilisateurs à la fois des fréquences étalons, le Temps Atomique International et une approximation du Temps Universel (ou, si l'on préfère, du temps solaire moyen),

constate que ce Temps Universel Coordonné est à la base du temps civil dont l'usage est légal dans la plupart des pays,

estime que cet emploi est parfaitement recommandable.

Projet de résolution F⁽⁷⁾

La Quinzième Conférence Générale des Poids et Mesures,

ayant pris connaissance des travaux en cours en vue d'une réalisation plus exacte de l'ampère, de l'ohm, du volt et du farad, ainsi que des travaux connexes sur l'utilisation de l'effet Josephson et du coefficient gyromagnétique du proton,

recommande que ces travaux soient poursuivis activement,

demande au Comité International des Poids et Mesures de coordonner ces travaux, et de poursuivre l'organisation de mesures comparatives, non seulement des étalons des grandeurs correspondantes en courant continu, mais encore des grandeurs électromagnétiques en haute fréquence.

Projet de résolution G⁽⁸⁾

La Quinzième Conférence Générale des Poids et Mesures,

ayant pris connaissance des amendements apportés à l'Échelle Internationale Pratique de Température de 1968, qui ne changent pas les valeurs des températures mesurées mais qui améliorent la commodité et la reproductibilité des mesures,

approuve l'édition de 1975 de l'Échelle Internationale Pratique de Température de 1968,

et demande au Comité International des Poids et Mesures de poursuivre la préparation d'une Échelle révisée qui donnerait une exactitude meilleure, c'est-à-dire des valeurs encore plus voisines des températures thermodynamiques.

* *Note explicative.* L'expression « Temps Universel Coordonné » a été employée par les spécialistes dès le début; le mot « coordonné » dans cette expression a des origines historiques.

⁽⁶⁾ Adopté par la 15^e C.G.P.M., sans la Note explicative et après insertion, à la 2^e ligne, de « (UTC) » après « Temps Universel Coordonné » (Résolution 5).

⁽⁷⁾ Adopté par la 15^e C.G.P.M. (Résolution 6).

⁽⁸⁾ Adopté par la 15^e C.G.P.M. (Résolution 7).

Projet de résolution H⁽⁹⁾

La Quinzième Conférence Générale des Poids et Mesures,

— en raison de l'urgence, exprimée par la Commission Internationale des Unités et Mesures de Rayonnements (I.C.R.U.), d'étendre l'usage du Système International d'Unités aux recherches et aux applications de la radiologie,

— en raison de la nécessité de rendre aussi simple que possible l'usage des unités aux non-spécialistes,

— tenant compte aussi de la gravité des risques d'erreurs dans la thérapeutique,

adopte les deux noms spéciaux suivants d'unités SI :

le becquerel, symbole Bq, pour l'unité d'activité (d'une source radioactive) égale à la seconde à la puissance moins un ;

le gray, symbole Gy, pour l'unité de dose absorbée égale au joule par kilogramme.

Projet de résolution I⁽¹⁰⁾

La Quinzième Conférence Générale des Poids et Mesures,

décide d'ajouter à la liste des préfixes SI pour la formation des noms des multiples des unités, adoptée par la Onzième Conférence Générale, Résolution 12, paragraphe 3^e, les deux préfixes suivants :

Facteur par lequel l'unité est multipliée	Préfixe	Symbole
10 ¹⁵	peta	P
10 ¹⁸	exa	E

Au sujet du projet de résolution E, Mr *Sandoval Vallarta* craint que beaucoup de délégués à la Conférence Générale n'étant pas des scientifiques, ne comprennent pas le mot « coordonné ». Mr *Terrien* répond que ces projets seront donnés dans la Convocation avec des commentaires afin que les délégués puissent recueillir les avis des experts de leur pays.

6. Travaux du B.I.P.M.

Mr Giacomo expose les principales activités du B.I.P.M. depuis octobre 1973 (*voir* le Rapport du directeur, p. 23). Il rappelle d'abord deux activités d'intérêt général : la préparation du volume qui sera publié à l'occasion du centenaire de la Convention du Mètre et du B.I.P.M. et l'extension des organes périphériques de l'ordinateur. Pour l'avenir, il est prévu d'équiper certaines expériences avec un système d'acquisition de données sur ruban magnétique.

Le B.I.P.M. participe maintenant activement à l'établissement de l'échelle de temps TAI. Un physicien du B.I.P.M., engagé l'an dernier,

⁽⁹⁾ Ce projet de résolution a été scindé en deux projets distincts qui ont été adoptés par la 15^e C.G.P.M. après modification rédactionnelle des alinéas finaux (Résolutions 8 et 9).

⁽¹⁰⁾ Adopté par la 15^e C.G.P.M. (Résolution 10).

travaille au Bureau International de l'Heure (Observatoire de Paris) sous la direction de Mr Guinot; il a participé à la mise au point de l'algorithme pour le calcul sur ordinateur.

Depuis mars 1974, une révision générale immobilise le comparateur photoélectrique; cinq règles ont néanmoins été étudiées au début de l'année. L'étude d'un dilatomètre interférentiel est bien avancée; on doit maintenant mettre au point la mesure des températures, améliorer la stabilité mécanique, etc., ce qui demandera encore quelques années.

Plusieurs lasers asservis sur des raies d'absorption saturée de l'iode ont été construits au B.I.P.M., dont deux sont maintenant utilisés pour des mesures courantes. L'étude de ces lasers se poursuit; elle peut avoir d'importantes répercussions à long terme: nouvelle définition du mètre, nouvelles méthodes de mesure des longueurs, etc.

La balance NBS-2 est maintenant en service permanent. Pour les comparaisons de Kilogrammes prototypes en platine iridié, l'écart-type d'une pesée ne dépasse guère 2 μg . Comme les témoins du Kilogramme international ont été déterminés jadis avec un écart-type de 8 μg , il faudra reprendre ces déterminations, et probablement aussi celles des prototypes nationaux. Au préalable, il convient de vérifier avec une précision accrue l'innocuité du nettoyage. La rapidité des pesées facilitera considérablement cette étude, qui a déjà été amorcée.

En électricité, les résultats de la 13^e comparaison internationale des étalons représentatifs de l'ohm et du volt a confirmé leur bonne uniformité. Elle a également montré l'efficacité de la mise en œuvre de l'effet Josephson pour la conservation du volt. Les premiers résultats obtenus au B.I.P.M. avec cette nouvelle méthode sont en bon accord avec ceux des autres laboratoires.

La collaboration avec des laboratoires nationaux dans les domaines de la manométrie et de la gravimétrie mérite d'être mentionnée.

On a mis au point les installations de référence pour les mesures d'activité de sources β et γ et pour l'étalonnage des instruments de mesure d'exposition X et γ . Le fantôme de graphite destiné à la comparaison internationale des mesures de dose absorbée est en cours d'étude.

Enfin, le B.I.P.M. a pris en charge une comparaison internationale de mesures de débits de fluence de neutrons rapides monocinétiques; le physicien responsable des mesures neutroniques au B.I.P.M. a accompagné trois instruments de transfert dans quatre laboratoires. Les résultats sont généralement compatibles avec les erreurs estimées, sauf aux faibles énergies (250 keV).

7. Questions administratives

Bâtiments. — Mr Terrien présente au Comité le nouvel administrateur Mr Gaillard, qui remplace Mr Jeannin parti en retraite. Il rend compte ensuite des travaux de

bâtiments qui ont été effectués cette année. Une grosse partie des dépenses concerne l'aile nord du Grand Pavillon où de nouvelles toilettes ont été aménagées en sous-sol; ces travaux ont nécessité des études sérieuses parce que dans cette partie le terrain n'est pas stable. Des mesures de consolidation ont été prises, que l'on espère efficaces.

Une bonne partie des travaux de bâtiments se rapportent en fait aux travaux scientifiques. Il s'agit d'aménager les locaux dans le but d'améliorer la stabilité mécanique et thermique des appareils de mesure.

Il n'est pas prévu de travaux importants en 1975.

Statut du personnel. — Mr de Boer parle ensuite du Statut du personnel, question qui a été déjà examinée l'an dernier. Le Comité avait laissé à son bureau le soin de compléter ce règlement. Il ne reste à discuter que la question des indemnités de licenciement.

Mr Giacomo avait été chargé d'obtenir des renseignements sur ce qui avait pu se faire dans certains organismes européens, tels que l'ESRO et l'ELDO qui se sont trouvés déjà devant l'obligation de licencier du personnel. Le souci pour le B.I.P.M. a été de prévoir un règlement qui ne soit pas trop complexe. Dans certains organismes il est fixé un maximum de 24 mois de salaire pour cette indemnité. On n'a pas jugé nécessaire de retenir un maximum, la probabilité d'avoir à licencier des employés ayant plus de 24 ans de service étant négligeable.

Le Comité donne son approbation au document présenté.

Mr de Boer indique qu'il reste encore à étudier la révision du règlement de la Caisse de retraites.

Caisse de prêts. — Mr Terrien expose le fonctionnement de cette Caisse. Il rappelle que sur les deux possibilités qui avaient été présentées l'an dernier, le Comité avait donné son accord pour la création d'une Caisse ayant un actif 1 % du budget annuel du B.I.P.M. On avait laissé à l'étude le montant des intérêts; le personnel a accepté un intérêt de 3 %. Cette Caisse fonctionne à la satisfaction de tous.

Le second type de prêts qui engagerait la garantie du B.I.P.M. sur des sommes beaucoup plus importantes reste pour le moment en suspens.

Traitements et avancement du personnel. — Mr Terrien indique qu'il n'y a pas de promotion d'adjoit à envisager cette année.

La question de la révision annuelle de la grille des traitements est examinée. L'unité de cette grille est le point-or qui traduit l'augmentation des prix, mais non pas du niveau de vie. L'an dernier la grille a été relevée de 2 %. Il est sage cette année de ne pas accorder d'augmentation pour le niveau de vie. Seule sera accordée l'augmentation d'ancienneté pour ceux qui ne sont pas au dernier échelon de leur grade. Les avancements au choix seront limités à trois personnes.

Exercice 1973 et Budget pour 1975. — Mr de Boer présente le rapport de l'exercice 1973 établi par l'expert-comptable. Certains chiffres ont été présentés dans le rapport du Secrétaire.

Mr Terrien aborde la question des intérêts des fonds déposés en banque. Les avoirs en dollars sont placés avec un intérêt de 11 %. Une partie des francs suisses a été provisoirement changée en dollars placés avec garantie de change. Cette opération a été nécessaire parce que les avoirs en francs suisses que le B.I.P.M. possédait n'étaient pas porteurs d'intérêts.

C'est une amélioration par rapport à la situation antérieure. A cause de l'inflation il est fondamental que l'avoir du B.I.P.M. soit productif d'intérêts.

Le Comité approuve l'exercice de 1973 et donne quitus à Mr Terrien qui présente ensuite le projet de budget pour 1975.

Ainsi qu'il l'avait déjà fait remarquer à la précédente session, Mr de Boer trouve l'actif de la Caisse de retraites beaucoup trop faible. Il faut donc l'améliorer graduellement et, sur sa proposition, il est décidé de transférer 20 000 francs-or au chapitre Caisse de retraites au détriment des frais divers et imprévus.

Mr Cintra do Prado s'inquiète de ce que l'augmentation des salaires risque d'atteindre 20 %, ce qui est bien supérieur à l'augmentation de 11 % du budget général.

Mr Terrien répond que pour 1975 le programme avait prévu une augmentation du personnel de deux personnes. Ce programme sera ralenti en conséquence.

Mr Perlstain demande si le Comité ne devrait pas indexer les retraites. Mr de Boer rappelle que l'an dernier on avait décidé de laisser ouverte la question de l'ajustement des retraites avec l'élévation du niveau de vie. Comme le Comité a précédemment décidé

de ne rien faire cette année pour les salaires, il est logique de ne rien faire non plus pour les retraites à cet égard.

Le projet de budget pour 1975 ainsi légèrement modifié est approuvé.

Budget pour 1975

RECETTES		francs-or
Contribution des États		4 179 000
Intérêts des fonds		50 000
Taxes de vérification		10 000
Remboursements des taxes sur les achats		150 000
		<hr/>
Total		4 389 000
		<hr/> <hr/>
DÉPENSES		
<i>A. Dépenses de personnel :</i>		
1. Traitements	1 913 000	} 2 417 000
2. Allocations familiales	119 000	
3. Sécurité sociale	127 000	
4. Assurance-accidents	18 000	
5. Caisse de Retraites	240 000	
<i>B. Dépenses de fonctionnement :</i>		
1. Bâtiments (entretien)	160 000	} 978 000
2. Mobilier	6 000	
3. Laboratoires et ateliers	520 000	
4. Chauffage, eau, énergie électrique	115 000	
5. Assurances	6 000	
6. Impressions et publications	60 000	
7. Frais de bureau	52 000	
8. Voyages	45 000	
9. Bureau du Comité	14 000	
<i>C. Dépenses d'investissement :</i>		
1. Laboratoires	505 000	} 595 000
2. Atelier de mécanique	10 000	
3. Atelier d'électronique	55 000	
4. Bibliothèque	25 000	
D. Frais divers et imprévus		180 000
E. Utilisation de monnaies non convertibles		110 000
F. Ajustement de la Réserve de Trésorerie		109 000
		<hr/>
Total		4 389 000
		<hr/> <hr/>

8. Visite des laboratoires et du Dépôt des Prototypes métriques

Après une visite générale des laboratoires, les membres du Comité effectuent la visite habituelle du caveau des prototypes métriques qui donne lieu au procès-verbal suivant.

Procès-Verbal

Le 26 septembre 1974, 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 Madame M.L. Marchand avait apportée, celle enfin dont le Président du Comité International a la garde.

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

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

Température actuelle	21,6 °C
— maximale	22,2
— minimale	20,0
État hygrométrique	82 %

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

*Le Directeur
du Bureau,*
J. TERRIEN

*Le Représentant
des Archives de France,*
Mme M.L. MARCHAND,
Conservateur

*Le Vice-Président
du Comité,*
J.V. DUNWORTH

9. Questions diverses

Rapports des Comités Consultatifs. — Mr Terrien indique que pour des raisons de commodité, afin d'éviter la multiplicité des déplacements, il arrive, comme cela a été le cas cette année pour le C.C.U., que les Comités Consultatifs se réunissent à des dates voisines de la réunion du C.I.P.M. Le délai est donc trop court pour que le rapport définitif, c'est-à-dire approuvé par le Comité Consultatif intéressé, puisse être soumis au C.I.P.M. Il demande donc au Comité s'il préfère que lui soit soumis le rapport provisoire ou un rapport abrégé.

Mr Stille a une nette préférence pour un rapport abrégé. C'est aussi l'avis du Comité.

Mr Terrien propose alors d'envoyer aux membres du Comité le même texte qu'il prépare après chaque Comité Consultatif pour être publié dans *Metrologia*.

Centenaire de la Convention du Mètre. — Mr Sandoval Vallarta demande si le calendrier des manifestations du centenaire qui avait été avancé l'année dernière est toujours valable. Mr Terrien répond que pour l'instant il n'y a rien de nouveau; aucune réponse n'a encore été reçue de l'Élysée ni de l'Académie des Sciences.

Mr Stulla-Götz demande dans quelle salle se déroulera la 15^e Conférence Générale. Mr Terrien pense qu'elle pourra avoir lieu dans la salle du Centre

de Conférences Internationales du Ministère des Affaires Étrangères (Avenue Kléber, Paris). Toutefois aucune réponse officielle n'a été reçue non plus à ce sujet.

* * *

Au nom de ses collègues, Mr *Sandoval Vallarta* remercie Mr Dunworth de la façon courtoise et efficace avec laquelle il a dirigé les travaux de cette 63^e session du Comité International.

Mr *Dunworth* clôt la session en remerciant tous les participants. Il félicite Mr Terrien pour l'excellente préparation de cette réunion et lui demande de transmettre au personnel du Bureau International la satisfaction du Comité.

RAPPORT DU DIRECTEUR

SUR L'ACTIVITÉ ET LA GESTION

DU BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

(octobre 1973 — septembre 1974)

I. — PERSONNEL

Remarques générales

Le recrutement de quelques physiciens supplémentaires, et surtout de physiciens plus jeunes afin de préparer l'avenir, est encore difficile, non seulement faute de candidats, mais encore à cause de l'accroissement inflationniste des dépenses de personnel.

L'effectif se maintient à environ 50 personnes.

D. REYMANN a été promu au grade de physicien à partir du 1^{er} février 1974.

Engagement

Jacques GAILLARD, né en 1923, précédemment adjoint au directeur administratif d'une importante société industrielle, a été engagé comme administrateur à compter du 1^{er} février 1974.

Départs

A. JEANNIN, qui assurait depuis 23 ans les fonctions d'administrateur, a demandé à faire valoir ses droits à la retraite à partir du 1^{er} août 1974, en raison de son état de santé qui s'était détérioré au point de l'immobiliser. Son successeur, J. Gaillard, est allé chez lui presque quotidiennement afin d'être mis au courant d'une façon aussi complète que possible.

A. Jeannin a assuré ses fonctions variées et de plus en plus complexes avec soin et compétence à la satisfaction de tous. C'est avec regret que nous le voyons partir alors qu'il n'est âgé que de 62 ans. Je suis heureux d'exprimer ici mes souhaits amicaux à un collaborateur qui fut efficace et agréable.

M. DROUIN, agent d'entretien contractuel, qui nous a rendu bien des services en accomplissant toutes sortes de travaux matériels pour l'entretien ou l'aménagement des bâtiments, a cessé de travailler pour le B.I.P.M. en septembre 1974 à l'âge de 66 ans. Il avait été engagé en mai 1952, d'abord à temps partiel, puis à temps complet depuis août 1959.

II. — BÂTIMENTS

Observatoire

La salle 14 (interférométrie) a été rénovée : l'installation électrique a été entièrement refaite, un nouveau conditionnement d'air a été installé et la salle a été repeinte.

A la demande de la compagnie d'assurances, un système d'alarme anti-ivol a été installé, pour protéger les coffres et armoires où sont entreposés les étalons.

Les peintures de l'appartement du gardien ont été refaites.

Petit Pavillon

En octobre 1973, un effondrement partiel du plâtre au plafond de l'atelier de mécanique a fait découvrir que les solives en bois du plancher entre cet atelier et le logement du gardien principal (cuisine et couloir contigu) étaient pourries.

Après démolition, on a reconstitué le plancher avec deux poutres et des solives métalliques, des hourdis en terre cuite et une couche de ciment comportant un produit insonorisant (Vermiculite). La cloison entre le couloir et la cuisine a été reconstruite; le sol de la cuisine et du couloir a été refait en carreaux de grès cérame; la cuisine a été repeinte et réinstallée.

Des sondages du plancher de la chambre contiguë à la cuisine et située au-dessus de l'atelier de mécanique ont montré que les poutres et solives étaient dans un état médiocre à leur extrémité côté cuisine. On a donc renforcé ce plancher en coupant la portée en deux par la pose d'une poutre métallique placée dans l'axe de la fenêtre centrale de la façade de l'atelier.

Grand Pavillon

Le bureau du directeur a été repeint et retapissé.

La peinture de la cage de l'escalier des bureaux du second étage a également été refaite.

Le petit local (toilettes), aménagé en 1954 à l'extrémité nord du Grand Pavillon, ne pouvant recevoir qu'une personne à la fois, son agrandissement avait été approuvé en 1973 (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 41, 1973, p. 28). Pour trouver l'espace nécessaire tout en respectant l'architecture du Pavillon, il a été décidé de creuser en sous-cœuvre le bureau de l'administrateur situé au nord de ce Pavillon. Cette partie du bâtiment avait subi des déformations qui avaient nécessité des travaux de consolidation des fondations (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 1894, 1937, 1939, 1940, 1950, 1952 et 1954); les causes de ces déformations et les moyens de les éviter plus complètement à l'avenir ont donc été étudiés au préalable en pratiquant au voisinage six forages profonds de 10 à 17 m et en analysant les carottes extraites.

On a ainsi trouvé, dans la cour d'honneur :

- d'abord du sable, des éboulis calcaires et du remblai,
- puis une couche d'argile plastique entre les niveaux — 5,5 et — 9 m environ,
- et, plus bas, des marnes calcaires mais pas de nappe d'eau.

Avec l'architecte, Mr Cottet, son ingénieur et ceux de l'entreprise Sainrapt et Brice, il a été reconnu que les travaux faits jadis pour consolider les fondations seraient suffisants à condition de prendre les précautions suivantes :

- relier la façade est à la façade ouest, dans l'épaisseur des murs, un peu en dessous du niveau du sol, par deux chaînages précontraints;
- rejoiner, par injection de ciment sous pression, les fondations mises à découvert;
- remplacer les maçonneries disjointes;
- et surtout veiller à ce que les eaux de ruissellement soient évacuées avant qu'elles ne puissent pénétrer jusqu'à la couche d'argile plastique. (En particulier, les canalisations enterrées devront être visitées tous les deux ans.)

Des sondages locaux à l'extrémité du mur nord et à l'angle nord-ouest ont permis de reconnaître la base des fondations à une profondeur de 4,30 m.

Le bureau de l'administrateur ayant été déménagé et le plancher démonté, on a creusé à l'intérieur sur une profondeur d'environ 3 m; on a trouvé du remblai et la fosse déjà signalée en 1954.

On a creusé localement au pied du mur de la Grande Salle, jusqu'à 5 m au-dessous du niveau du rez-de-chaussée, sans en atteindre la base. Ce soubassement a une épaisseur de 0,80 m à 1 m, variable du fait de la courbure des murs du sous-sol de cette salle. Une surépaisseur de maçonnerie sans cohésion et ne supportant rien, d'environ 0,50 m, en saillie vers le nord, a été enlevée, la partie restante étant sérieusement consolidée.

Dans l'espace ainsi libéré, un escalier a été aménagé, desservant en sous-sol deux cabines de toilettes pour dames et trois pour hommes; le rez-de-chaussée a été redistribué en deux bureaux.

Bâtiments du laboratoire des rayonnements ionisants

Les huisseries, portes et fenêtres ont été revernies.

Dépendances

Le ravalement du bâtiment de la menuiserie a été poursuivi. Après réfection de l'enduit, les murs ont été peints à la pliolythe de teinte identique à celle du Petit Pavillon.

Les grilles et la clôture ont été repeintes.

L'engorgement des canalisations des eaux usées provoqué par l'accumulation d'écheveaux de racines a nécessité leur curage.

III. — INSTRUMENTS ET TRAVAUX

Remarques générales

Les comparaisons internationales et les certifications d'étalons pour divers pays exigent des précisions de plus en plus élevées, donc des instal-

lations de mesure de plus en plus élaborées, avec la mise en œuvre de techniques nouvelles telles que l'effet Josephson pour corriger la dérive des étalons de force électromotrice, ou simplement des précautions plus sévères pour diminuer les perturbations mécaniques, thermiques, magnétiques, etc. qui sont des causes d'incertitude. Dans tous les domaines, le B.I.P.M. poursuit ces améliorations minutieuses. Les relations personnelles internationales entre métrologistes, qui favorisent l'efficacité de ce travail difficile, ne se limitent plus aux scientifiques, elles s'étendent aux techniciens supérieurs. Ainsi le B.I.P.M. reçoit l'aide des grands laboratoires, il contribue aux travaux internationaux, et il offre l'aide de ses compétences aux stagiaires et visiteurs venant de nombreux pays.

Les échelles de temps étaient jusqu'à une date récente produites par un organisme totalement indépendant du B.I.P.M., le Bureau International de l'Heure (B.I.H.), fondé en 1919. Lors de l'avènement des étalons atomiques de fréquence, en 1955, le B.I.H. avait ajouté à son activité traditionnelle sur les temps astronomiques l'élaboration d'une échelle de temps atomique. L'utilisation de plus en plus répandue de cette échelle de temps atomique a conduit la 14^e Conférence Générale des Poids et Mesures, en 1971, à en donner une définition officielle et à autoriser la conclusion d'arrangements entre le C.I.P.M. et le B.I.H. afin d'en permettre la réalisation dans les meilleures conditions. C'est ainsi que J. Azoubib collabore depuis septembre 1973 avec le personnel du B.I.H., notamment MM. Guinot (directeur) et Granveaud à l'élaboration du temps atomique international TAI. Ce rapport comporte pour la première fois un paragraphe concernant ces activités; à leur sujet, il débordera légèrement de la période annuelle de référence.

Dans l'exposé qui suit, les noms des responsables de 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.

Échelles de temps (J. Azoubib)

Le Temps Atomique International (TAI)

Pour assurer la pérennité de l'échelle de temps fondée sur les étalons atomiques, ainsi que sa meilleure stabilité et sa meilleure exactitude, il faut faire appel à des étalons aussi nombreux et dispersés que possible, à la condition qu'ils soient assez bien comparés entre eux d'une façon permanente. Actuellement, seul le réseau de navigation du LORAN-C permet des comparaisons à la précision de quelques 0,1 μ s qui est nécessaire et l'on ne peut utiliser que la soixantaine d'étalons de temps de l'Europe et de l'Amérique du Nord.

D'abord réalisé comme une moyenne d'échelles de temps atomiques élaborées par sept laboratoires, le TAI est maintenant calculé à partir d'un traitement uniformisé des données de chacun des étalons pris individuellement. Cette nouvelle technique, mise en œuvre en 1973, permet l'utili-

sation des installations de laboratoires équipés d'un nombre restreint d'étalons.

On estime que la stabilité relative en fréquence du TAI est de l'ordre de $0,5 \times 10^{-13}$ par an (bruit aléatoire de scintillation en fréquence), mais des travaux du N.B.S., de la P.T.B. et du B.I.H. laissent à penser qu'il existe une dérive progressive de la fréquence du TAI de l'ordre de 1×10^{-13} par an, en valeur relative. D'autre part, les étalons primaires réalisés au N.R.C., au N.B.S. et à la P.T.B. indiquent que la fréquence du TAI est trop élevée de 1×10^{-12} en valeur relative. Cet écart décroît par suite de la dérive spontanée qu'on a mentionnée.

Le TAI est mis à la disposition des utilisateurs par la publication mensuelle des écarts entre le TAI et les horloges maîtresses d'une vingtaine d'établissements. On peut le connaître ainsi à $0,2 \mu\text{s}$ près environ.

Améliorations du TAI

Durant l'année qui vient de s'écouler, les travaux suivants ont été achevés ou étaient en cours.

L'algorithme permettant de calculer le TAI fait l'objet d'un programme d'ordinateur permettant une gestion très simple. Ce programme a été amélioré pour réduire le temps de calcul et l'encombrement, en prévision d'un accroissement du nombre d'étalons traités.

Le vieillissement des étalons atomiques commerciaux responsable de la dérive du TAI a été étudié. Il apparaît qu'il s'exerce surtout pendant la première année de fonctionnement; il est réduit ensuite, tandis que le bruit aléatoire croît.

Ce vieillissement donne une importance accrue aux étalons primaires très exacts mais fonctionnant par intermittence. On a montré par un travail sur simulation de données pour 60 ans qu'on pouvait améliorer à la fois la stabilité et l'exactitude du TAI grâce à un emploi approprié des données des étalons primaires.

Les études de la liaison transatlantique par LORAN-C révèlent des anomalies de quelques $0,1 \mu\text{s}$. Il apparaît que le lien entre les étalons distants est d'ores et déjà une limitation en précision dans les travaux sur le TAI. Les liaisons par satellites permettent d'espérer un gain et l'on commence à les étudier au B.I.H.

Le Temps Universel Coordonné

Le TAI a l'inconvénient pour les usages pratiques de s'éloigner indéfiniment du Temps Solaire Moyen (Temps Universel). Aussi utilise-t-on une échelle de temps de compromis, désignée par UTC (Temps Universel Coordonné), qui diffère du TAI par un nombre entier de secondes, ajusté lorsque c'est nécessaire. Le B.I.H. a aussi la gestion du système UTC.

Comme pour le TAI, le B.I.H. publie mensuellement les corrections aux horloges des laboratoires afin d'obtenir UTC. Les différents laboratoires ont ainsi accès à UTC avec une approximation de quelques $0,1 \mu\text{s}$.

La plupart de ces laboratoires ajustent leur horloge maîtresse afin de maintenir le synchronisme avec UTC. Ainsi, l'unification de l'heure dans les

pays les plus industrialisés est maintenant assurée avec une approximation de quelques microsecondes (fig. 1).

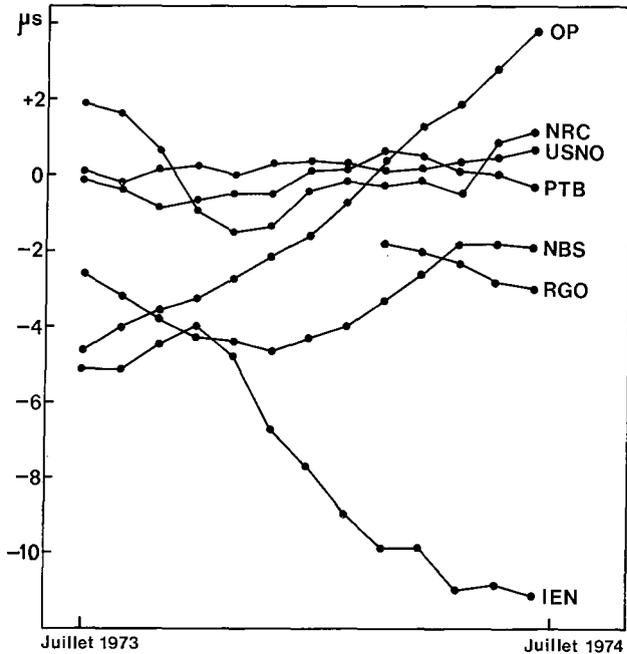


Fig. 1. — Écarts entre UTC et l'approximation qu'en maintiennent certains laboratoires.

- IEN Istituto Elettrotecnico Nazionale, Torino, Italie.
- NBS National Bureau of Standards, Boulder, États-Unis d'Amérique.
- NRC Conseil National de Recherches, Ottawa, Canada.
- OP Observatoire de Paris, Paris, France.
- PTB Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Rép. Féd. d'Allemagne.
- RGO Royal Greenwich Observatory, Herstmonceux, Royaume-Uni.
- USNO U.S. Naval Observatory, Washington, États-Unis d'Amérique.

Longueurs (P. Carré)

Comparateur photoélectrique et interférentiel

Le comparateur photoélectrique et interférentiel a été utilisé de façon pratiquement permanente depuis la dernière vérification des microscopes et de l'électronique, effectuée en 1969. L'étanchéité du caisson du comparateur était devenue défectueuse, notamment en raison du vieillissement des graisses des passages d'axes. Une révision s'imposait donc. La Société Genevoise d'Instruments de Physique a pu effectuer cette révision à partir de mars 1974, en profitant de son intervention nécessaire pour l'alimentation du comparateur avec la tension 380/220 V en remplacement de la tension 220/110 V. Les passages étanches ont été entièrement démontés et nettoyés; ils ont été regarnis en graisse neuve. Cela a nécessité le désaccouplement de

la console et le démontage d'une partie de la cloison entre cette console et le caisson. Les huiles de graissage du chariot et des coulisseaux portemicroscopes ont été changées. Le changement de tension d'alimentation a exigé le remplacement du transformateur principal et certaines modifications du câblage. Les dispositifs électroniques ont tous été vérifiés et réglés, ainsi que les microscopes photoélectriques.

Étalons à traits

Mètre prototype N° 27 C (Indonésie)

Nous avons constaté que les traits de ce prototype sont trop fins pour pouvoir être pointés par les microscopes photoélectriques du comparateur interférentiel. Nous avons dû déterminer son équation à l'aide de l'ancien comparateur à dilatation à microscopes visuels, par comparaison à nos quatre prototypes d'usage, au cours de seize séries effectuées par quatre observateurs. Le résultat obtenu est :

$$\text{N}^\circ 27 \text{ C} = 1 \text{ m} + 182,44 \text{ } \mu\text{m} \text{ à } 20 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (décembre 1973).}$$

La valeur admise en 1961 à la suite de mesures faites au comparateur normal était :

$$\text{N}^\circ 27 \text{ C} = 1 \text{ m} + 9,34 \text{ } \mu\text{m} \text{ à } 0 \text{ }^\circ\text{C} \text{ soit } 1 \text{ m} + 182,04 \text{ } \mu\text{m} \text{ à } 20 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (}^1\text{).}$$

Mètre prototype N° 8 (France)

La détermination de l'équation de ce prototype a été effectuée au moyen du comparateur photoélectrique. Le résultat obtenu est :

$$\text{N}^\circ 8 = 1 \text{ m} + 172,63 \text{ } \mu\text{m} \text{ à } 20 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (décembre 1973).}$$

La valeur admise en 1921 à la suite de mesures faites au comparateur normal était :

$$\text{N}^\circ 8 = 1 \text{ m} - 0,79 \text{ } \mu\text{m} \text{ à } 0 \text{ }^\circ\text{C} \text{ soit } 1 \text{ m} + 172,35 \text{ } \mu\text{m} \text{ à } 20 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (}^1\text{).}$$

Règles divisées

Leur étude a été effectuée au comparateur photoélectrique.

— Règle N° 16222 de 0,2 m (Avia-Export, Moscou) : équation de l'intervalle principal, étalonnage des centimètres et des demi-millimètres de l'intervalle 185 à 195 mm.

— Règle N° 5372 de 1 m en acier au nickel (Polski Komitet Normalizacji i Miar, Varsovie) : équation de l'intervalle principal et étalonnage des décimètres.

— Règle N° 774 de 1 m en acier à 58 % de nickel (Laboratoire National d'Essais, Paris) : équation de l'intervalle principal, étalonnage des décimètres, des centimètres et des millimètres des centimètres extrêmes.

(¹) On rappelle que le changement de définition du mètre (1960) a introduit dans les résultats des mesures une discontinuité que l'on a évaluée à environ + 0,25 μm (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 39, 1971, p. 32).

Étalons à bouts (J. Hamon)

Au moyen de l'interféromètre Tsugami, nous avons mesuré :

- trois calibres en acier de 50, 70, 100 mm (Cary, Le Locle, Suisse),
- dix calibres en acier de 5, 9, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 90 et 100 mm (Det Norske Justervesen, Oslo),
- six calibres en acier de 5, 15, 25, 50, 75 et 100 mm (Bureau Fédéral des Poids et Mesures, Berne).

Au cours de ces mesures, on a constaté que la chambre à vide scellée constituant la partie essentielle du réfractomètre de l'interféromètre présentait une fuite et que la pression interne était de l'ordre de 300 Pa. En attendant la remise en état du réfractomètre, les mesures ont donc été effectuées en calculant l'indice de l'air d'après les conditions ambiantes.

Nous avons organisé un échange de calibres avec le Laboratoire Central de l'Armement (L.C.A.), Paris, qui possède un interféromètre identique au nôtre.

Dans chaque laboratoire, un calibre de 25 mm et un calibre de 100 mm ont été mis en adhérence sur des plans d'acier, mesurés puis transportés en adhérence à l'autre laboratoire; après mesure, ils ont été rapportés au laboratoire d'origine où une nouvelle mesure a été faite. Les résultats suivants ont été obtenus (écarts par rapport aux valeurs nominales et écarts-types, en micromètres) :

	L.C.A.	B.I.P.M.	différence
25 mm LCA	+ 0,035	+ 0,041 ± 0,001	— 0,006
25 mm BIPM	+ 0,005	+ 0,007 ± 0,001	— 0,002
100 mm LCA	+ 0,079	+ 0,085 ± 0,002	— 0,006
100 mm BIPM	— 0,121	— 0,114 ± 0,005	— 0,007

Dilatomètre interférentiel (J. Hamon)

Cette étude, dont il a déjà été fait mention (Rapports 1970, p. 41 et 1971, p. 32), a pu être reprise.

Il s'agit de mesurer les coefficients de dilatation linéique de règles divisées et de calibres jusqu'à 1 m de longueur, au voisinage de 20 °C, avec une précision de l'ordre de $5 \times 10^{-9} \text{ K}^{-1}$ au moyen d'un appareillage aussi simple que possible et, de préférence, automatique.

Le schéma optique est représenté à la figure 2 : deux trièdres optiques T_1 et T_2 sont fixés aux extrémités de l'étalon à étudier; deux miroirs du trièdre

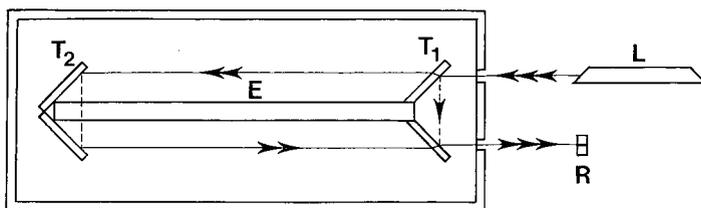


Fig. 2. — Schéma de principe du dilatomètre interférentiel.

E, étalon en cours d'étude (règle ou calibre); T_1 , T_2 , trièdres optiques; L, laser; R, récepteur double.

T_1 sont semi-transparents. En éclairant par le faisceau du laser L, on observe des interférences en R. Sur l'un des miroirs d'un trièdre, on a déposé, par évaporation avant aluminure, une couche d'épaisseur convenable de façon à obtenir dans les deux moitiés du champ des interférences en quadrature, ce qui permet un comptage réversible.

Avec cette disposition, le faisceau le plus court ne traverse aucune épaisseur de verre tandis que le plus long traverse deux miroirs. On a interposé dans le trièdre T_1 , sur le trajet du faisceau court, entre sa première et sa troisième réflexion, deux lames de verre de même nature que ces miroirs. Leur épaisseur a été calculée de façon que les variations de chemin optique, dues à la dilatation et à la variation d'indice du verre traversé, soient égales pour les deux faisceaux dans l'intervalle de température utilisé. Les montures des deux trièdres sont en invar et les miroirs en silice fondue (Homosil).

Les trièdres étant placés aux extrémités de l'étalon et maintenus par des ressorts, l'ensemble est introduit dans un caisson étanche en aluminium. Ce caisson est entouré d'une circulation d'eau à température régulée.

On réalise des cycles thermiques entre 15 et 25 °C. L'ordre de grandeur des précisions à atteindre est :

- pour la différence entre les températures extrêmes : $\pm 0,002$ K;
- pour le comptage de franges (environ 300 franges) : $\pm 0,1$ frange;
- il faut connaître la longueur totale d'un étalon de 1 m à 0,2 mm près;
- il faut que, durant l'expérience, la longueur d'onde du laser reste stable à $\pm 0,3 \times 10^{-7}$.

Les mesures sont faites dans le vide (pression de quelques pascals) obtenu avec une pompe primaire.

Lors des premiers essais, on a utilisé, pour la mesure de la température, six thermistances réparties le long de l'étalon. Le comptage de franges a été fait simplement au moyen de deux photodiodes au silicium et d'un enregistreur à deux voies. Le réglage du thermostat de la circulation d'eau était effectué manuellement. Nous pouvons passer de 15 à 25 °C, ou inversement, en 24 h; dans ces conditions les paliers thermiques sont très stables.

Afin de réduire la dispersion des résultats obtenus au cours de ces mesures préliminaires, il convient d'améliorer notamment les mesures de la température et la fixation des trièdres. Il y aura lieu, ensuite, de déterminer les erreurs systématiques de l'appareil.

Base géodésique (G. Girard)

Fils géodésiques

Cette année encore l'activité a été très réduite : huit fils de 24 m et deux fils de 8 m ont été mesurés (France et Inde).

Invar géodésique

Trois mesures du coefficient de dilatation d'échantillons d'invar ont été effectuées pour vérifier le résultat du traitement thermique de la 29^e livraison d'invar.

Dilatometre de 24 m

Ce dilatomètre, qui nous sert à la détermination des coefficients de dilatation des étalons géodésiques ou d'échantillons d'invar à l'occasion de leur traitement thermique, a été construit en 1953 ⁽²⁾ et a beaucoup été utilisé depuis cette époque.

La partie principale de cet appareil (huit éléments en laiton de 3 m en forme de U, à double paroi, dans lesquels circule l'eau à température réglable) s'étant détériorée, elle a été refaite en acier inoxydable.

Interférométrie

Lasers asservis sur l'absorption de I₂ (J.-M. Chartier)

Les deux premiers lasers de ce type construits au B.I.P.M. ont été décrits précédemment (Rapport 1973, p. 38). Ils ont été utilisés de façon intensive, l'un (N° 2) pendant 1 900 heures, l'autre (N° 3) pendant 3 250 heures. Le laser N° 3 est depuis janvier 1974 affecté à la mesure de g où il remplace partiellement la lampe à krypton pour la mesure de l'étalon de longueur.

Le laser N° 4 est légèrement différent : le tube à He-Ne et la cavité sont plus courts de 5 cm. Il en résulte un élargissement de la courbe de gain en fonction de la longueur qui permet d'observer et d'utiliser les composantes a, b, c.

Deux lasers de ce dernier type ont été construits et mis au point pour l'Institut National de Métrologie (Paris) par R. Felder, qui effectue dans ce but un stage au B.I.P.M. depuis le début de janvier 1974. Des cuves d'absorption ont aussi été remplies d'iode 127 pour l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti (I.M.G.C.), Turin et pour le Laboratoire de l'Horloge Atomique (L.H.A.), Orsay.

Quelques améliorations ont été apportées à l'électronique d'asservissement. Nous avons construit de nouveaux générateurs, pour la modulation à la fréquence f_0 et pour la détection synchrone à la fréquence $3f_0$, particulièrement exempts d'harmoniques : les résidus sont inférieurs à 70 dB entre 0 et 8 000 Hz pour une fréquence f_0 de 1 092 Hz. Les conseils de A. J. Wallard (N.P.L.) nous ont été précieux pour cette construction.

Nous avons également construit, pour les expériences de battements, des générateurs à quatre sorties (deux à f_0 et deux à $3f_0$), avec déphaseurs et atténuateurs, utilisant un oscillateur commun unique. On a ainsi pu réduire couramment la largeur spectrale des battements à moins de 100 kHz malgré une amplitude de modulation de l'ordre de 5 MHz. Le filtrage du signal de commande, après détection synchrone, a aussi été amélioré : il importe qu'il soit aussi exempt d'harmoniques de f_0 que le générateur d'excitation lui-même ; ce résultat est acquis.

L'achat d'un compteur-calculateur (Hewlett-Packard) nous permettra à l'avenir d'obtenir rapidement la fréquence moyenne de battement et sa variance (d'Allan) avec des échantillons de durée pratiquement quelconque.

Depuis octobre 1973, nous disposons en outre d'un laser de type analogue mais utilisant du néon 22 et de l'iode 129. Ce laser, que nous devons

(2) BONHOURS (A.), *Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 24, 1954, p. 167.

à la générosité du N.B.S., nous a été apporté par J.W.G. Schweitzer qui l'a mis lui-même en service.

Stabilité

En étudiant les battements entre les lasers N° 2 et N° 3, asservis par exemple l'un sur la composante i, l'autre sur la composante j, on peut caractériser leur stabilité relative. Comme il est d'usage en pareil cas, la figure 3 donne la variance d'Allan $\sigma(2, \tau, \tau)$ de la fréquence de battement en fonction de la durée τ de chaque échantillon, variance calculée sur une vingtaine d'échantillons.

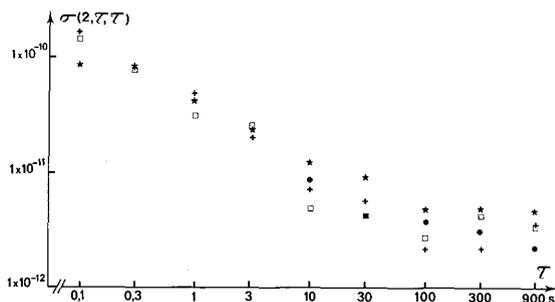


Fig. 3. — Stabilité à moyen terme des lasers du B.I.P.M. asservis sur l'absorption saturée de l'iode, mesurée au moyen de l'intervalle i-j (lasers N° 2 et N° 3, température de l'iode voisine de 14 °C).

$$\text{Constantes de temps } \left\{ \begin{array}{l} + \bullet \star \quad 0,9 \text{ s} \\ \square \quad 0,4 \text{ s} \end{array} \right.$$

Il serait difficile d'utiliser le même procédé pour des durées de l'ordre du mois. La figure 4 donne donc simplement les valeurs de la fréquence moyenne de battement relevées à plusieurs jours d'intervalle. On voit que les variations relatives de fréquence à long terme restent inférieures à 1×10^{-10} sur plus d'un mois. Des différences de cet ordre sont généralement observées par permutation des composantes utilisées pour asservir l'un

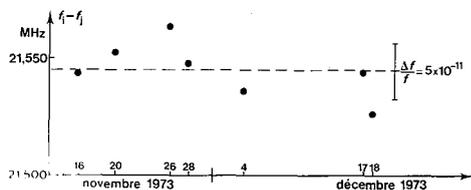


Fig. 4. — Stabilité à long terme des lasers du B.I.P.M. asservis sur l'absorption saturée de l'iode, mesurée au moyen de l'intervalle i-j (lasers N° 2 et N° 3, température de l'iode voisine de 14 °C).

ou l'autre laser; il subsiste donc des influences de cet ordre qui peuvent avoir leur origine dans l'électronique d'asservissement aussi bien que dans le laser lui-même (influence du « fond » par exemple); l'origine de ces effets perturbateurs est activement recherchée.

Mesures d'intervalles de l'iode 127

Nous avons effectué en mars 1974 une comparaison entre notre laser N° 2 et l'un des lasers du L.H.A. Ces deux instruments ne sont pas rigoureusement indépendants puisque la cuve à iode du second a été remplie au B.I.P.M.

Le tableau I résume les résultats obtenus pour les intervalles entre les composantes de l'iode habituellement utilisées (colonne 2). Comme terme de comparaison, on a indiqué dans les colonnes 3 et 4 les valeurs des mêmes intervalles mesurés antérieurement soit au L.H.A., soit au B.I.P.M. (lasers N° 2 et N° 3).

TABLEAU I
Intervalles entre composantes
unité : 1 MHz

Intervalle (1)	LHA-BIPM2 (2)	L.H.A. (3)	B.I.P.M. (4)
d-e	12,864	12,865	12,855
d-f	26,225	26,225	26,220
d-g	39,432	39,414	39,420
e-f	13,362	13,360	13,362
e-g	26,566	26,550	26,560
f-g	13,206	13,190	13,198
h-i	21,952	21,930	21,941
h-j	43,515	43,486	43,458*
i-j	21,572	21,558	21,569

* Valeur douteuse : amplitude de signal trop faible pour le fréquencesmètre.

Toutes les valeurs de ce tableau sont les moyennes obtenues en permutant les rôles des composantes. Pour le laser du B.I.P.M. N° 2, les variances d'Allan ($\tau = 10$ s; 20 mesures) sont de l'ordre de 4 kHz (composantes d à g) à 6 kHz (composantes h à j) et les différences des fréquences de battement obtenues par permutation des composantes sont de 30 à 50 kHz. Entre ce laser N° 2 et celui du L.H.A., les différences correspondantes sont de l'ordre de 30 kHz, avec le même signe, pour les composantes d à g; ce décalage systématique de 15 kHz du laser du L.H.A. vers les hautes fréquences est à vrai dire à peine significatif. On notera que les valeurs des intervalles du tableau I se reproduisent à mieux que ± 10 kHz, ce qui correspond à des variations relatives de fréquence des lasers inférieures à $\pm 2 \times 10^{-11}$.

Dans la même série d'expériences, on a déterminé l'influence de la température du point froid qui fixe la pression d'iode dans la cuve. On a trouvé un décalage de fréquence de -18 kHz/K entre 18 et 21 °C. Il ne nous a pas encore été possible de déceler l'origine de ce déplacement qui peut être dû à un effet de pression dans l'iode mais aussi à un effet indirect correspondant, par exemple, à la très forte variation d'absorption qui entraîne une variation importante du « fond ».

Mesures d'intervalles iode 127-iode 129

Les intervalles entre les composantes de $^{127}\text{I}_2(^{20}\text{Ne})$ et $^{129}\text{I}_2(^{22}\text{Ne})$ ⁽³⁾ n'ont été mesurés qu'au N.B.S. Disposant d'un laser à He- ^{22}Ne asservi sur

⁽³⁾ Cette notation désigne les raies d'absorption de l'iode 127 ou 129 qui coïncident avec la radiation de lasers à hélium-néon utilisant soit du néon 20 soit du néon 22.

$^{129}\text{I}_2$, il ne nous manquait qu'un peu d'expérience et de matériel pour entreprendre cette mesure. Les fréquences des battements à mesurer sont en effet de l'ordre de 1 GHz. J.-M. Chartier s'est initié aux tours de main nécessaires en janvier et février 1974 au cours d'un stage au N.B.S. Il a ensuite pu effectuer des mesures des intervalles entre les composantes A, B, C de $^{129}\text{I}_2$ et les composantes habituelles de $^{127}\text{I}_2$. Le montage utilisé est schématisé figure 5. La figure 6 donne un oscillogramme des battements enregistrés à l'aide d'un oscilloscope à échantillonnage.

Le tableau II donne les valeurs des intervalles mesurés.

TABLEAU II

Fréquences de battement obtenues avec un laser asservi sur $^{127}\text{I}_2(^{20}\text{Ne})$, composantes d à j, et un laser asservi sur $^{129}\text{I}_2(^{22}\text{Ne})$, composantes A à D
unité : 1 kHz

	A	B	C	D
d	803 438	823 279	841 123	925 843
e	816 295	836 137	853 984	938 701
f	829 656	849 508	867 331	952 069
g	842 860	862 688	880 518	965 259
h	946 615	966 460	984 269	1 068 980
i	968 547	988 385	1 006 223	1 090 923
j	990 079	1 009 961	1 027 798	1 112 488

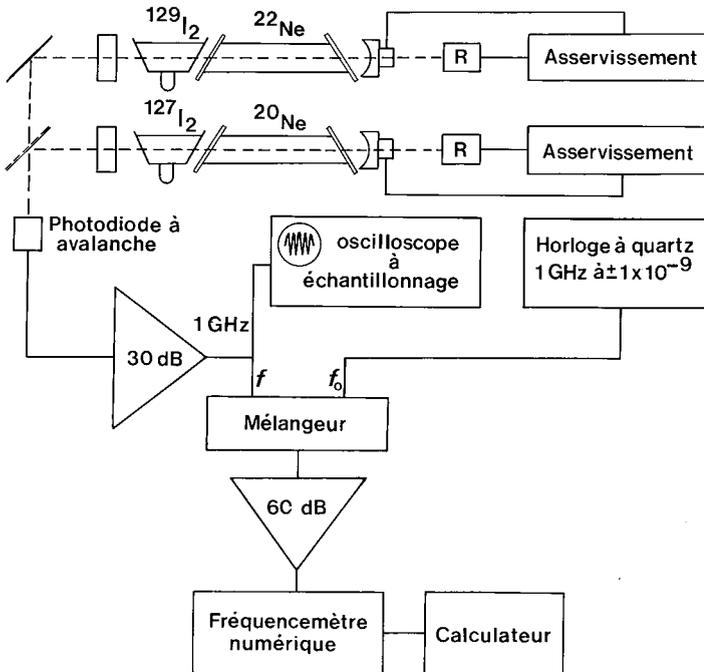


Fig. 5. — Schéma de l'appareillage utilisé pour la mesure de la fréquence de battement entre un laser asservi sur $^{127}\text{I}_2(^{20}\text{Ne})$ et un laser asservi sur $^{129}\text{I}_2(^{22}\text{Ne})$.

R, récepteur : photodiode au silicium.

De ces résultats, on tire la valeur de l'écart-type d'une mesure (13 kHz) ainsi que les valeurs et les écarts-types correspondants des intervalles suivants :

Intervalle	f (kHz)
A-i	968 539 \pm 8
B-i	988 386 \pm 8
C-i	1 006 218 \pm 8
D-i	1 090 935 \pm 8
d-i	165 099 \pm 9
e-i	152 240 \pm 9
f-i	138 879 \pm 9
g-i	125 688 \pm 9
h-i	21 939 \pm 9
j-i	— 21 562 \pm 9

Les valeurs des intervalles entre les composantes d à j sont généralement compatibles à ± 10 kHz près avec celles qui sont données plus haut (*voir* p. 34). Les valeurs des intervalles B-A et C-B sont inférieures d'environ 30 kHz à celles qui avaient été obtenues en janvier 1974 au N.B.S.; de même, la valeur de l'intervalle B-i est inférieure d'environ 100 kHz à celle obtenue au N.B.S.

Le point froid de la cuve à iode de chaque laser a été maintenu à 2 °C pour l'iode 129 et à 15 °C pour l'iode 127.

D'autre part, on a déterminé l'effet de température entre 2 et 7 °C pour le laser à $^{129}\text{I}_2$ et entre 7 et 14 °C pour le laser à $^{127}\text{I}_2$; cet effet est de — 14 kHz/K pour les deux lasers.

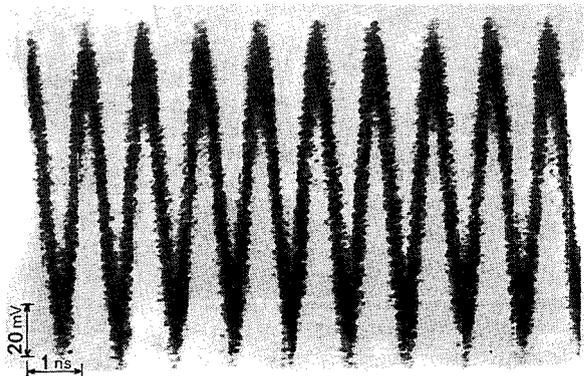


Fig. 6. — Oscillogramme des battements entre deux lasers.

Étalonnages par battements

Nous avons étalonné deux lasers asservis sur le « Lamb-dip » (Spectra-Physics modèle 119) en mesurant la fréquence de leurs battements avec notre laser N° 3 asservi sur l'iode 127.

La longueur d'onde a été déduite de la valeur recommandée pour $^{127}\text{I}_2$ et de la fréquence de battement.

Pour le laser en service aux mesures de longueur (salle 2), dont le tube venait d'être changé, on a obtenu en septembre 1973 :

- par rapport à la composante i : $\lambda = 632\ 991\ 406,31\ \text{fm}$;
- par rapport à la composante j : $\lambda = 632\ 991\ 406,16\ \text{fm}$.

Pour le laser utilisé par l'I.M.G.C. dans son gravimètre transportable, on a obtenu :

- en septembre 1973, $\lambda = 632\ 991\ 393,4\ \text{fm}$ (avec des fluctuations rapides atteignant $\pm 3\ \text{fm}$);
- en décembre 1973,
par rapport à la composante h : $\lambda = 632\ 991\ 399,6\ \text{fm} \pm 1,7\ \text{fm}$;
- par rapport à la composante j : $\lambda = 632\ 991\ 399,2\ \text{fm} \pm 1,0\ \text{fm}$;
- en septembre 1974,
par rapport à la composante h : $\lambda = 632\ 991\ 402,4\ \text{fm} \pm 2,0\ \text{fm}$;
- par rapport à la composante j : $\lambda = 632\ 991\ 402,4\ \text{fm} \pm 2,0\ \text{fm}$.

Cette méthode étant rapide et efficace, nous envisageons de l'utiliser plus fréquemment pour contrôler les divers lasers en service au B.I.P.M.

Masses (G. Girard)

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

Dans le Rapport de 1973 (p. 43), j'indiquais qu'un chauffage provisoire avait été installé dans une partie du couloir de ronde inférieur qui longe la salle 105. On l'a remplacé par une installation définitive dans la cabine de la salle 105 où se trouvent les principales balances. Les quatre éléments chauffants de 500 W ont été répartis sur les murs côtés salles 104, 106 et couloir de ronde. Ils ont été agrafés sur des plaques isolantes à base d'amiante fixées sur les plaques d'aluminium poli existantes. Quelques centimètres en avant des plaques isolantes, on a monté un cadre de bois sur lequel de nouvelles feuilles d'aluminium poli ont été vissées. L'alimentation des quatre éléments chauffants indépendants est réglée manuellement de façon à égaliser la température des parois de la cabine.

Balance NBS-2

Au cours des pesées déjà effectuées avec cette balance, on avait noté une corrélation entre les variations rapides de la pression atmosphérique, celles de la température et certaines anomalies dans les oscillations du fléau. Il était donc vraisemblable que l'on améliorerait les possibilités de cet instrument s'il était enfermé dans une enceinte étanche. Cela a été facile : en effet, d'une part la partie inférieure du bâti de la balance a été prévue pour recevoir une cloche (*fig. 7*); d'autre part, toutes les commandes de la balance traversent déjà ce bâti par des passages étanches.

La cloche utilisée est un cylindre d'aluminium à parois épaisses (parois latérales : 2,5 cm, fond : 5 cm), comportant deux hublots qui permettent l'un de suivre les oscillations du fléau, l'autre de vérifier la position exacte du transporteur. Le joint est suffisamment écrasé sous le poids de la cloche pour que l'étanchéité soit assurée sans dispositif de serrage. Un palan fixé au plafond permet de manœuvrer cette cloche. Un dispositif mécanique

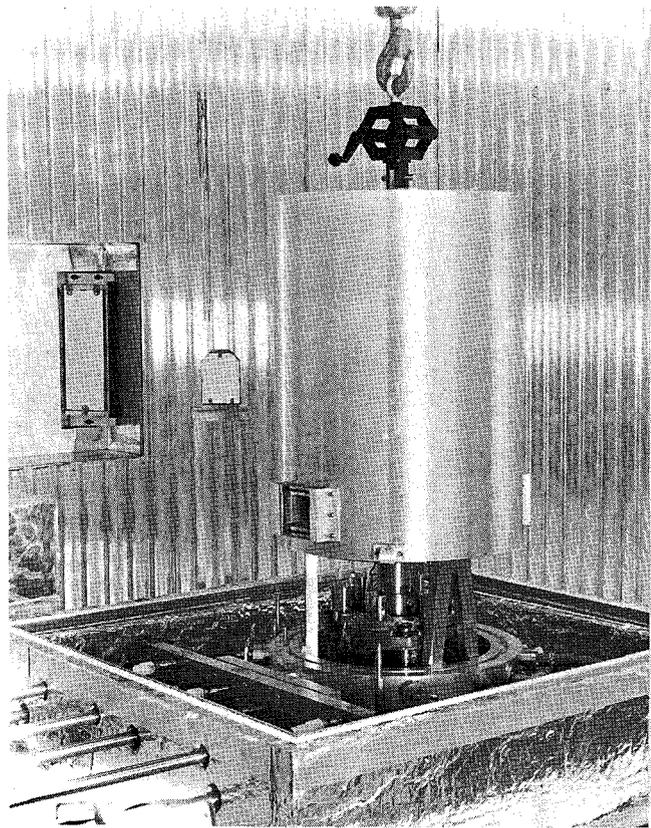


Fig. 7. — Balance NBS-2 : enceinte étanche et dispositif de levage de la cloche (protection thermique en partie enlevée).

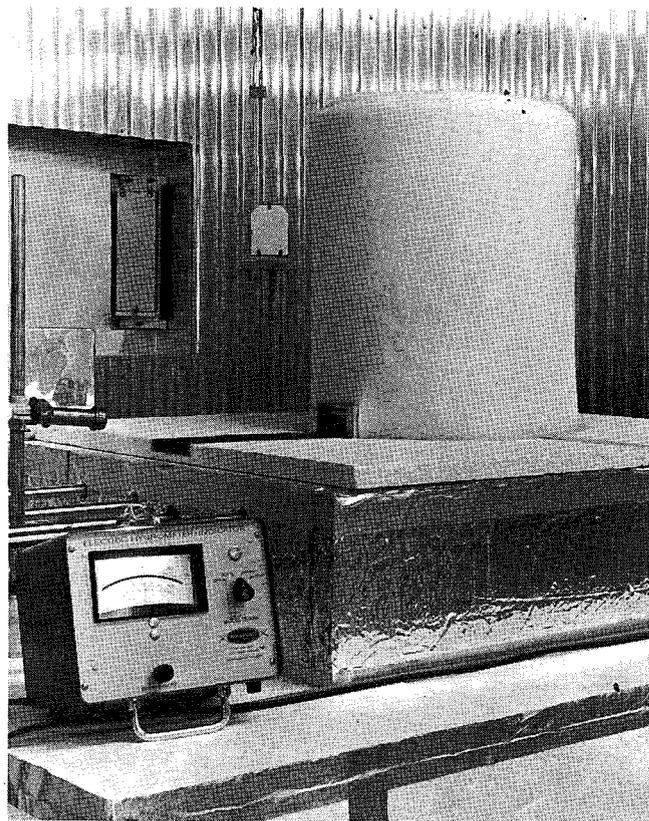


Fig. 8. — Balance NBS-2 équipée de sa protection thermique.

auxiliaire interposé entre le palan et la cloche permet de poser celle-ci sur le joint d'étanchéité en évitant tout choc.

Une autre amélioration est obtenue si la température au niveau du fléau est maintenue supérieure d'au moins 0,01 K à celle qui existe au niveau du plateau. Pour arriver à ce résultat, différents essais ont été tentés au cours des pesées de Kilogrammes prototypes.

L'installation actuelle est la suivante :

Le socle de la balance est relié thermiquement par deux lames souples de cuivre au pilier sur lequel il repose. Ce pilier est isolé de l'air ambiant par un revêtement de polystyrène expansé. Enfin, seule la partie inférieure de l'enceinte isolante décrite dans le Rapport de 1973 (p. 44) a été conservée; elle est fermée par une plaque isolante horizontale (*fig. 8*). Ainsi, la température de la base de la balance est influencée naturellement par celle du sol. La cloche est revêtue d'un tissu isolant qui atténue les petites variations de la température de l'air de la cabine. La température de la partie supérieure de la balance est donc voisine de celle de l'air ambiant et ainsi légèrement supérieure à celle de la partie inférieure. La différence entre la température au niveau du plateau et celle au niveau du fléau est mesurée à l'aide de deux thermistances disposées en montage différentiel dans un pont de Wheatstone et d'un enregistreur potentiométrique. On peut ainsi estimer la valeur du gradient thermique. On constate qu'il est constant en dehors des pesées mais que la partie inférieure de la balance s'échauffe au cours des mesures à cause des frottements du dispositif mécanique d'échange des Kilogrammes.

Le gradient thermique horizontal le long du fléau est mesuré de la même façon. Il est très faible et tout à fait stable.

La température de l'air au niveau du plateau est mesurée à l'aide d'une sonde à résistance de platine étalonnée dans l'E.I.P.T.-68.

L'humidité relative de l'air est mesurée à l'aide d'un hygromètre électrique qui nous a été fourni par le N.B.S. avec la balance.

La pression de l'air à l'intérieur de la cloche, qui doit être connue à 1 Pa près pour les comparaisons entre Kilogrammes en platine iridié et en acier inoxydable, sera déterminée par une jauge à spirale de quartz (Texas Instruments).

La reproductibilité des pesées avec cette balance a été améliorée depuis mai 1970, date des premiers essais effectués au B.I.P.M. L'écart-type d'une comparaison entre deux Kilogrammes de même matériau, qui était alors de 3,2 μg environ, est maintenant de l'ordre de 2,0 μg .

Les possibilités de cette balance sont, à notre avis, limitées par les deux causes perturbatrices suivantes :

— Les positions angulaires du transporteur, sur lequel sont disposés les six Kilogrammes, ne sont pas encore actuellement repérées avec une précision suffisante pour assurer un excellent centrage sur le plateau des différents étalons. Il en résulte un balancement du plateau qui nuit à la bonne régularité des oscillations du fléau.

— Les frottements mécaniques de certaines pièces mises en mouvement lors des échanges de Kilogrammes provoquent une élévation de la température.

Il semble possible de diminuer l'influence de la première cause en améliorant la précision du repérage des positions du transporteur mais beaucoup

plus difficile de réduire celle de la seconde, car il faudrait probablement revoir la construction même des pièces mobiles.

Kilogrammes prototypes

En février 1974, les Kilogrammes prototypes en platine iridié N° 39 (République de Corée), N° 46 (Indonésie) et N° 52 (République Fédérale d'Allemagne), auxquels on avait adjoint le Kilogramme C du B.I.P.M., ont été comparés à nos Kilogrammes d'usage courant N° 9 et N° 31, au moyen de la balance NBS-2.

Une première série de comparaisons a été effectuée en prenant les trois Kilogrammes nationaux dans l'état où ils nous ont été confiés, puis une seconde série après qu'ils furent nettoyés à l'alcool et au benzène purs puis lavés sous un jet de vapeur d'eau bidistillée. Pour ces comparaisons, on a suivi le schéma indiqué dans le Rapport de 1973 (p. 44). Les résultats sont les suivants :

Kilogramme N°	Avant nettoyage-lavage (1)	Après nettoyage-lavage (2)	Effet du nettoyage-lavage (2)-(1)	Date du précédent nettoyage-lavage	Pollution moyenne
39	1 kg — 657 µg	1 kg — 749 µg	— 92 µg	1961	7 µg/an
46	+ 320	+ 288	— 32	1961	2,5
52	+ 227	+ 187	— 40	1951	1,7

La quatrième colonne indique l'effet du nettoyage-lavage sur ces étalons ; on en déduit (sixième colonne) l'accroissement moyen de leur masse attribuable à la pollution de leur surface depuis la date du précédent nettoyage-lavage. Il est à noter que la surface du Kilogramme N° 39 est très rayée et que certaines marques sont assez profondes.

Les valeurs des masses figurant dans les colonnes (1) et (2) sont données respectivement avec un écart-type de 1,6 et 1,0 µg, sans tenir compte de l'écart-type sur les Kilogrammes de référence ; si l'on en tient compte, on trouve un écart-type de 8 µg.

Le tableau III récapitule les valeurs qui ont été successivement attribuées à la masse de chacun des trois prototypes nationaux.

TABLEAU III

Résultats des déterminations de la masse de trois Kilogrammes prototypes (excès en µg sur la valeur nominale)

Kilogramme N°	1889	1939	1948	1951	1961	1974
39 (Rép. de Corée)	— 118				— 703	— 749
46 (Indonésie)		+ 241	+ 294		+ 270	+ 288
52 (Rép. Féd. Allemagne)				+ 162		+ 187

Dans le Rapport de 1973 (p. 46), j'avais indiqué la masse volumique de trois cylindres en platine iridié destinés à réaliser des Kilogrammes proto-

types. L'ajustage du cylindre JM11 a fait apparaître sur l'une de ses bases une petite cavité qui l'a rendu impropre à la réalisation d'un prototype. Ce cylindre a été renvoyé à Johnson-Matthey. Les cylindres JM10 et JM12 ont été polis et ajustés à l'atelier du B.I.P.M. et sont devenus les Kilogrammes N° 62 (attribué à l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti (I.M.G.C.), Turin) et N° 63.

Pour la première fois, une pâte à base de poudre de diamant a été utilisée à la fin du polissage. On a obtenu ainsi une surface mieux polie que celle des Kilogrammes précédents. Nous espérons qu'ainsi la pollution de leur surface sera plus lente.

Ces deux nouveaux Kilogrammes ont été nettoyés et lavés; on leur a adjoint le Kilogramme C du B.I.P.M. et ils ont été comparés à nos Kilogrammes d'usage courant N° 9 et N° 31 au moyen de la balance NBS-2, au cours de cinq séries, chacune faisant intervenir quatre Kilogrammes comparés deux à deux dans toutes les combinaisons possibles. Les résultats sont les suivants :

N° 62 (I.M.G.C.)	1 kg — 0,949 mg
N° 63 (non attribué)	1 kg + 0,310 mg.

L'écart-type sur la valeur des masses, calculé à partir de ces seules comparaisons, est de 0,9 μ g mais il est de 8 μ g si l'on tient compte de l'écart-type sur la valeur de la masse des deux étalons de référence.

Une commande de trois nouveaux cylindres en platine iridié a été adressée à Johnson Matthey (Londres).

Nettoyage et lavage des Kilogrammes prototypes

La pollution de la surface des étalons de masse, et plus particulièrement des Kilogrammes en platine iridié, est un problème qui a retenu notre attention depuis déjà longtemps.

Une étude très complète avait été effectuée par A. Bonhure il y a une trentaine d'années sur plusieurs Kilogrammes à l'aide de la balance Bunge (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 20, 1946, p. 171). Cette étude avait conduit à la conclusion qu'il était nécessaire de procéder, avant toute nouvelle détermination de la masse d'un étalon, à un nettoyage de sa surface à l'aide de solvants, suivi d'un lavage à la vapeur d'eau. Ce double traitement ne semblait pas affecter la masse réelle de l'étalon.

Nous voudrions avoir confirmation de ce fait, car il serait alors possible de conserver nos Kilogrammes prototypes d'usage courant en parfait état de propreté en les soumettant à des nettoyages-lavages plus fréquents.

Dans ce but, nous avons commencé une étude à l'aide de la balance NBS-2 qui a une reproductibilité bien meilleure que celle de la balance Bunge, en procédant à des nettoyages-lavages répétés sur le Kilogramme en platine iridié N° 63 qui vient d'être ajusté et qui possède une surface mieux polie que celle des Kilogrammes précédents.

Après chaque traitement, ce Kilogramme est comparé, au cours de trois séries, aux Kilogrammes en platine iridié N° 9, N° 31 et C suivant le schéma régulièrement utilisé avec cette balance (comparaison des Kilogrammes deux à deux dans toutes les combinaisons possibles).

Les résultats obtenus jusqu'à maintenant, bien que peu nombreux

(trois nettoyages-lavages échelonnés sur un mois), semblent encourageants en ce qui concerne la bonne stabilité de la masse de ce Kilogramme :

Kilogramme N° 63	{	Après 1 ^{er} nettoyage-lavage	1 kg + 0,310 mg
		» 2 ^e »	+ 0,306
		» 3 ^e »	+ 0,309

(l'écart-type sur la valeur de la masse découlant de ces mesures est inférieur à 1 μg).

Nous avons l'intention de continuer cette étude et de l'étendre à un autre Kilogramme dont la surface est très rayée.

Par ailleurs, la présence de trois prototypes au B.I.P.M. a permis de reprendre, avec une précision accrue grâce à la balance NBS-2, une autre étude qui avait été effectuée en 1965; on avait conclu qu'il n'y avait pas de variation de la masse d'un Kilogramme en platine iridié dans les jours ou semaines qui suivent un lavage à la vapeur d'eau bidistillée (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, 33, 1965, p. 38).

Les trois Kilogrammes ont été nettoyés et lavés le 7 février 1974, mis sous cloche avec un desséchant puis placés dans la balance le lendemain. Ils ont été comparés au Kilogramme C en platine iridié, pris comme référence. La première pesée a été effectuée le 11 février et la dernière le

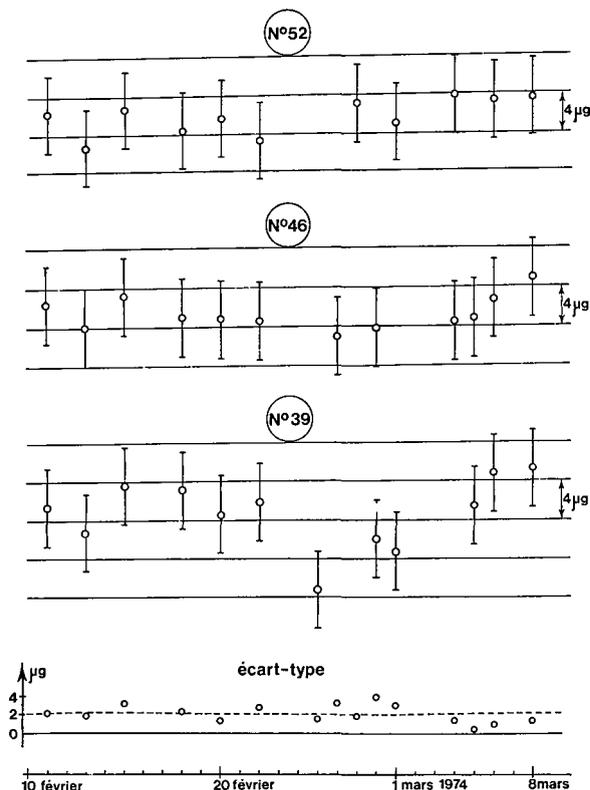


Fig. 9. — Évolution de la masse de trois Kilogrammes prototypes en platine iridié après un nettoyage-lavage et écart-type de chaque comparaison.

8 mars. La figure 9 donne les différentes valeurs de la masse de ces trois Kilogrammes, accompagnées de leur incertitude (trois écarts-types), ainsi que l'écart-type de chaque comparaison.

Les Kilogrammes N° 46 et N° 52 ne montrent pas d'évolution pendant la durée de cette étude. En revanche, le Kilogramme N° 39 présente une instabilité probablement due au mauvais état de sa surface.

La conclusion de cette étude est que la masse de Kilogrammes en platine iridié fraîchement nettoyés et lavés est stable, et que des pesées peuvent donc être effectuées aussitôt après ce traitement.

Balance hydrostatique Stanton

Cette balance, de portée 1 kg, qui a été achetée en 1963, sert presque exclusivement à la détermination du volume de nouveaux Kilogrammes. Elle a été utilisée aussi pour l'étude de l'influence de la composition isotopique de l'eau sur sa masse volumique.

Sa reproductibilité devenait de moins en moins bonne et il était nécessaire de la faire réviser. Après accord avec la Société Oertling (qui a repris Stanton), cette balance a été expédiée en septembre 1973 et nous est revenue à la fin d'avril 1974. Outre la remise en état des plans et des couteaux et un réglage général, deux dispositifs supplémentaires ont été ajoutés :

— un mécanisme d'échange de masses entre les deux plateaux superposés de droite, identique à celui qui existait à gauche, qui permettra d'effectuer des pesées hydrostatiques différentielles entre deux bains (eaux à températures différentes ou de compositions isotopiques différentes) à l'aide de deux corps immergés de masse et de volume voisins;

— un frein agissant par frottement sur l'aiguille pendant l'abaissement du fléau et s'éclipsant ensuite, qui permet de limiter l'amplitude des oscillations à une valeur déterminée.

Des essais de pesée dans l'air ont montré que cette balance semble avoir retrouvé la reproductibilité qu'elle avait en 1963.

Masse volumique de l'eau

L'étude de l'influence de la composition isotopique de l'eau sur sa masse volumique a été interrompue à cause de l'indisponibilité de la balance hydrostatique.

En revanche, M. Menaché (Institut Océanographique, Paris), qui collabore avec le B.I.P.M. dans cette étude, s'est intéressé au problème de l'influence des gaz atmosphériques dissous sur la masse volumique de l'eau. Cette influence, qui a déjà été étudiée partiellement par Marek et Chappuis (vers 1900), est importante, surtout entre 0 et 20 °C. Le titrage de l'oxygène dissous par la méthode chimique de Winkler, améliorée par Carpenter (4), est une opération aisée, rapide et qui permet d'obtenir une précision relative de 1×10^{-3} . Le titrage de l'azote atmosphérique dissous est au contraire difficile et peu précis.

Des mesures de concentrations par chromatographie en phase gazeuse,

(4) CARPENTER (J.H.), *Limnol. Oceanogr.*, **10**, 1965, p. 135.

à une précision relative de 2×10^{-2} , ont permis de constater qu'un échantillon d'eau pure préalablement dégazée, exposé à l'air dans une cuve découverte, sans agitation, à une température voisine de 22 °C, contient toujours de l'oxygène et de l'azote en proportion telle que les pourcentages de saturation de ces deux gaz dans l'échantillon soient égaux.

On pourra donc, dans une étude future sur les gaz atmosphériques dissous dans l'eau, renoncer au titrage de l'azote, la concentration de ce gaz pouvant être déduite de celle de l'oxygène déterminée par la méthode de Winkler-Carpenter.

Études courantes

— Étalonnage d'une série de masses de 500 g à 1 mg (Yougoslavie).

— Détermination de la masse de plusieurs flotteurs en verre et en silice fondue (Laboratoire d'Océanographie Physique de l'Université de Paris VI).

— Détermination de la masse et de la masse volumique d'une masse à bouton de 1 kg en acier inoxydable (Mettler, Suisse) et d'un monocristal de silicium de 18 g (Bureau Central de Mesures Nucléaires, Geel, Belgique).

Divers

Achat chez Oertling (Grande-Bretagne) d'un cylindre en acier inoxydable Immaculate V (23,5 % Cr, 21 % Ni) en vue de la réalisation d'un Kilogramme; achat chez Chyo Balance Co. (Japon) d'un Kilogramme en acier inoxydable (25 % Cr, 20 % Ni), fondu sous vide. Ces deux Kilogrammes seront utilisés pour étudier la stabilité dans le temps de la masse d'étalons réalisés en ces matériaux.

Achat d'une balance électronique Mettler ME22, de portée maximale 3 g. Cette balance permet de faire des comparaisons beaucoup plus rapidement et avec une précision un peu plus élevée qu'avec la balance Stanton de portée 2 g que nous possédons depuis douze ans.

Gravimétrie (A. Sakuma)

Marées gravimétriques

Le gravimètre à ressort destiné à l'enregistrement des marées gravimétriques (Rapport 1973, p. 48) a été mis en fonctionnement permanent en mai 1974, après deux ans de préparation.

La sensibilité de cet appareil atteint actuellement 2×10^{-9} m/s² (0,2 μGal), ce qui correspond à une résolution de 0,1 % de l'amplitude de la marée; ce résultat est pratiquement indépendant du niveau des bruits microsismiques. Malgré la complexité de l'entretien de l'installation, nous avons pu obtenir l'enregistrement des marées pendant un mois entier sans interruption et sans retouche des réglages de l'appareil.

La décomposition en série de Fourier de l'enregistrement est en cours en collaboration avec des laboratoires de géophysique qui ont manifesté de l'intérêt pour l'analyse de nos observations des marées gravimétriques, du fait que ce sont les premières qui soient effectuées dans la région parisienne avec un appareil de hautes performances. Pendant cette période

d'un mois, la dérive globale du gravimètre, due à des causes de diverse nature (mécanique, électronique, thermique, chimique, géologique, etc.), a été $+ 2 \times 10^{-8}$ en valeur relative, soit en moyenne $+ 0,7 \mu\text{Gal}$ par jour, valeur environ dix fois plus faible que celle des gravimètres commerciaux. Cette faible dérive de l'appareil permettra :

1) de fournir aux gravimétristes, qui viennent de plus en plus fréquemment utiliser « Sèvres point A » pour des liaisons gravimétriques, la valeur de g à l'instant de leur mesure, exacte à quelques 10^{-9} près grâce à un étalonnage périodique (hebdomadaire) de notre gravimètre à ressort au moyen de notre mesure absolue de g ;

2) d'étudier les ondes de marée gravimétrique de longue période (> 14 jours) sans réglage de l'appareil pendant plus d'un an;

3) d'imaginer la réalisation d'un dynamomètre fondé sur le même principe avec lequel on pourrait comparer des masses étalons à 10^{-10} près.

La figure 10 montre schématiquement l'installation du gravimètre.

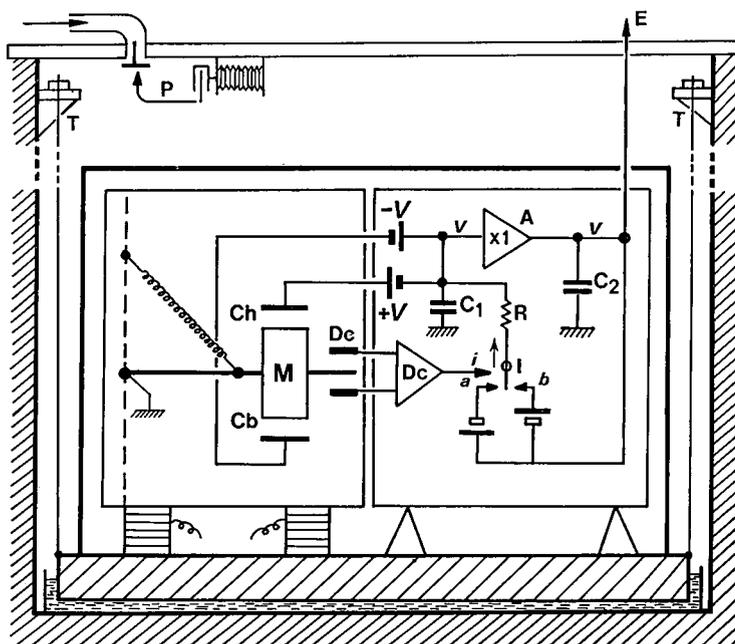


Fig. 10. — Installation du gravimètre de la station du B.I.P.M. pour l'enregistrement de la marée gravimétrique.

T, tige de suspension; P, régulateur de la pression dans le puits ($1,03 \times 10^5$ Pa); M, masse principale du gravimètre; Ch, Cb, condensateurs de compensation; Dc, détecteur capacitif et électronique associé; I, interrupteur électronique à deux positions a et b , commandé par le signal d'erreur du détecteur, permettant de charger ou de décharger le condensateur C_1 à travers la résistance R à courant constant i ; $+V$, $-V$, tensions de polarisation pour la compensation; v , tension de commande pour le maintien de M en position fixe; C_2 , condensateur chargé sous la tension v délivrée par l'amplificateur A de gain unité et permettant ainsi d'assurer la constance de i ; E, enregistreur avec filtre passe-bas.

a) *Puits à pression constante.* — Tous les gravimètres à ressort sont plus ou moins influencés par les variations de la pression atmosphérique, même s'ils sont installés dans des caissons étanches. Pour notre gravimètre, cette influence est $8 \times 10^{-11} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{Pa}^{-1}$ ($1 \mu\text{Gal}/\text{mmHg}$). Afin de l'éliminer, la pression dans le puits (profondeur 2 m, volume 2 m^3) à l'intérieur duquel le gravimètre est installé a été stabilisée à quelques pascals près par asservissement.

b) *Stabilité thermique.* — En analysant les fluctuations relevées sur notre enregistrement de la marée, on a pu estimer que la stabilité thermique à courte période du gravimètre est meilleure que $\pm 0,03 \text{ mK}$. La stabilité thermique à longue période est difficile à évaluer avec le montage actuel; néanmoins, si l'on admet que la dérive globale du gravimètre donnée plus haut ($+ 2 \times 10^{-8}$ en un mois) est due uniquement à la variation de la température, cette variation n'a pas dépassé $- 3 \text{ mK}$ en un mois.

c) *Compensation de l'inclinaison du sol.* — Les déformations du bâtiment du laboratoire, vraisemblablement dues à l'ensoleillement, provoquent une inclinaison journalière maximale d'environ $2 \mu\text{rad}$ sur la plupart des piliers du laboratoire et même au fond du puits de 2 m de profondeur creusé en sous-sol. Cette inclinaison est plus importante dans la direction est-ouest (perpendiculaire à la façade du laboratoire) et elle atteint son maximum (côté ouest plus haut) vers midi. Cet effet perturbait notre enregistrement de marée d'une quantité équivalente à $4 \times 10^{-9} g$ et en modifiait appréciablement l'amplitude et la phase du fait qu'aux jours de forte marée, les sommets (minimums de g) apparaissent aussi vers midi. On a réduit cet effet à une valeur équivalente à moins de $1 \times 10^{-10} g$ en posant le gravimètre sur des crapaudines piézoélectriques associées à un niveau électronique (sensibilité $\approx 20 \text{ nrad}$). Ce dispositif compense aussi les affaissements du sol dus aux charges artificielles (un véhicule automobile de 10 tonnes stationnant près de la façade du laboratoire produit une inclinaison de $0,2 \mu\text{rad}$ environ dans le puits).

d) *Suspension anti-vibratoire.* — Les tremblements de terre ainsi que les chocs mécaniques artificiels produits à proximité du laboratoire provoquaient des discontinuités de l'enregistrement de la marée, probablement dues aux microglissements de l'appareil par rapport au sol. Cet effet a été éliminé en installant le gravimètre sur un bloc de granit baignant partiellement dans de l'huile aux silicones et suspendu par des tiges métalliques de 2 m de longueur. En outre, les vibrations verticales du gravimètre sont atténuées au moyen de crapaudines piézoélectriques analogues à celles qui équipent la table stabilisée de l'appareil de mesure absolue de g .

e) *Électronique d'asservissement pour la méthode de zéro utilisée avec le gravimètre.* — Pour éviter la transmission de chaleur par les fils de connexion, l'électronique a été installée aussi au fond du puits dans un caisson étanche. Cette protection de l'électronique était indispensable pour éviter les dérives de capacité provoquées par des variations de pression atmosphérique, de température et d'humidité; en effet, le détecteur capacitif D_c doit être sensible à une variation de $0,1 \text{ fF}$ malgré l'existence de capacités parasites en parallèle de l'ordre de 30 pF , dues principalement aux câbles coaxiaux de liaison.

Un intégrateur à très faible dérive et à constante de temps infinie

(limitée seulement par la saturation de tension électrique) est employé pour l'asservissement par une méthode de zéro de la position du fléau du gravimètre. Le détecteur capacitif de position Dc provoque le fonctionnement de l'interrupteur I qui prend la position *a* ou *b* selon le signe de la tension de déséquilibre due aux microséismes résiduels ou aux marées. Grâce à l'amplificateur A, à haute impédance d'entrée ($\approx 1 \text{ T}\Omega$) et de gain unité, les tensions aux bornes de C_1 et C_2 sont constamment égales. Le courant dans R est donc indépendant de cette tension *v*. Les condensateurs Ch et Cb, polarisés par les tensions $+V$ et $-V$, sont ainsi chargés sous les tensions $V + v$ et $-V + v$ et soumettent la masse M à une force proportionnelle à $(V + v)^2$ vers le haut et à $(-V + v)^2$ vers le bas, donc au total à $4 V \cdot v$ (la tension $V \approx 40 \text{ V}$ est fournie par des piles au mercure; elle est constante à 1×10^{-4} par an). La tension *v* s'ajuste de façon que le courant dans R soit nul en moyenne, donc de façon que I soit pendant des durées égales en *a* et en *b*, c'est-à-dire que le détecteur capacitif soit en moyenne à l'équilibre. La tension *v* fournit une mesure de la force exercée sur la masse M pour compenser le déséquilibre dû à une variation de *g*, elle fournit donc une mesure de cette variation sans produire de chaleur au voisinage de Ch et Cb. Le montage symétrique donne à l'asservissement une bonne linéarité ($< 0,1 \%$) dans une plage importante ($1,6 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$) alors que tous les autres gravimètres asservis existants utilisent, à notre connaissance, des montages dissymétriques qui ne permettent que des linéarités de 1 % et introduisent en outre une force parasite proportionnelle à V^2 .

La figure 11 montre l'enregistrement des marées gravimétriques à Sèvres point M1 (sous-sol de la salle 6) au moyen de notre appareil pendant 11,5 jours environ (du 13 juin 1974 à 17 h UT au 25 juin 1974 à 07 h UT). On constate le faible niveau des bruits et des dérives bien que ce gravimètre ait un faible temps de réponse (20 s environ).

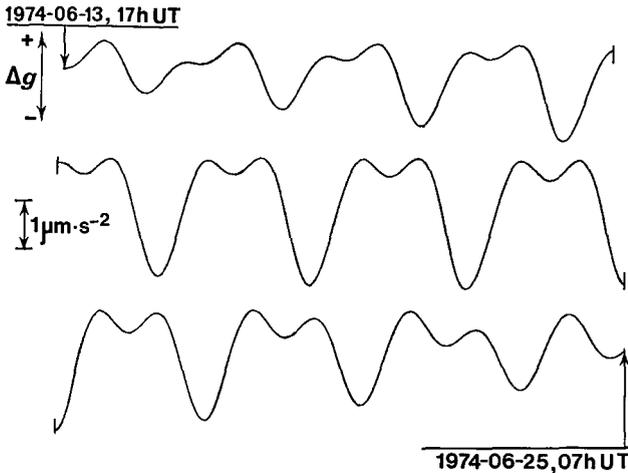


Fig. 11. — Enregistrement de la marée gravimétrique (Sèvres point M1) en juin 1974, pendant environ 11,5 jours.

Ainsi, après deux ans de préparation, mais dès la mise en marche, notre appareil d'enregistrement de la marée gravimétrique est connu parmi les

spécialistes comme l'un des meilleurs. C'est le seul appareil de ce type qui soit installé à proximité d'un appareil de mesure absolue de g . Il permettra non seulement de fournir à l'appareil absolu les corrections réelles de marées gravimétriques mais aussi d'élucider la nature des marées et les causes de leurs dérives, noyées jusqu'à présent dans les bruits instrumentaux.

Station gravimétrique de Mizusawa

Notre collaboration se poursuit avec l'International Latitude Observatory, Mizusawa, Japon, pour la création d'une seconde station gravimétrique, analogue à celle du B.I.P.M. Dans ce but, la construction d'un laboratoire indépendant (330 m²) a été achevée en avril 1974. Selon nos indications, les piliers (en béton et en granit) auxquels seront fixés les appareils, ont été installés symétriquement autour de l'emplacement de l'appareil futur afin de minimiser l'anomalie de g due à leur masse. Pour étudier la construction de cet appareil absolu, quatre physiciens et ingénieurs de cet Observatoire, dirigés par M. Sakamoto, ont fait un stage de cinq semaines en juin et juillet 1974 à la Section de gravimétrie du B.I.P.M.

Gravimètre absolu transportable

En novembre 1973, le premier résultat encourageant a été obtenu au B.I.P.M. (pilier de la salle 6) avec le gravimètre absolu transportable de l'Institut de Métrologie de Turin : les écarts entre les valeurs moyennes de g obtenues à chaque série (20 mesures par série environ) étaient inférieurs à $\pm 2 \times 10^{-8}$ en valeur relative (soit $\pm 20 \mu\text{Gal}$) avec un bon accord du même ordre par rapport à la valeur de g connue.

A la suite des demandes d'une dizaine de laboratoires de géophysique et de métrologie intéressés par ce gravimètre, les Établissements Jaeger (France) ont commencé des études pour la fabrication commerciale de tels appareils.

Thermométrie (J. Bonhoure)

Échelle Internationale Pratique de Température

L'objectif du B.I.P.M. est de pouvoir faire des mesures de température avec la plus grande précision possible dans tout le domaine de température compris entre -190 et $1\,064$ °C; on a donc poursuivi l'amélioration progressive des installations existantes (de 0 à $1\,064$ °C) et, parallèlement, commencé la construction d'un cryostat pour le point fixe que l'on a choisi de réaliser au-dessous de 0 °C : le point triple de l'argon.

— Dans le Rapport de 1973 (p. 52) on indiquait la nouvelle technique utilisée pour refroidir une cellule à point triple de l'eau et obtenir un manchon de glace bien régulier autour du puits thermométrique. On a, cette fois, amélioré la technique de conservation de la cellule à la température du point fixe : on ne plonge plus la cellule directement dans un bac rempli de glace en grains mais on la place dans une éprouvette en plexiglas de diamètre approprié qui est elle-même plongée dans la glace. On peut, de cette façon, conserver la cellule à la température du point triple pendant

plusieurs semaines; on évite aussi, ce qui est très important, que le manchon de glace adhère inopinément au puits thermométrique pendant une mesure. Une nouvelle enceinte mobile, mieux isolée thermiquement que l'ancienne, avec écoulement de l'eau de fonte de la glace par gravité, a été construite; elle peut contenir plusieurs cellules.

— La réalisation correcte du point de congélation de l'aluminium exige une absence totale d'oxygène et de toute trace de vapeur d'eau. On a donc construit un dispositif étanche pour maintenir le creuset contenant le lingot de métal pur sous atmosphère d'argon pur et sec; c'est une éprouvette réfractaire sur laquelle on a adapté un bouchon en téflon; tous les passages étanches, y compris celui du thermomètre ou du thermocouple, sont assurés par des joints toriques. Il faudrait pouvoir mettre ce dispositif sous vide pour en effectuer le dégazage préalable; cela permettrait aussi de vérifier sa bonne étanchéité, mais l'installation nécessaire n'est pas encore disponible. Il est possible qu'ultérieurement tous les points de congélation soient réalisés de cette façon.

— L'argon est utilisé comme atmosphère artificielle pour tous les points de congélation; il sert aussi comme jet de gaz froid pour provoquer la germination autour du puits thermométrique d'un métal à forte surfusion; il servira ultérieurement à la réalisation du point triple de l'argon. On aura également besoin d'hélium dans le cryostat. Il faut aussi pouvoir maintenir un bon vide dans le cryostat et, comme on vient de le voir, autour du point de congélation de l'aluminium. Pour satisfaire à tous ces besoins, on a établi un réseau de canalisations en acier inoxydable comprenant les vannes, les détendeurs et le débitmètre nécessaires; deux postes de travail sont prévus dans la salle: l'un pour le point triple de l'argon, l'autre pour les points de congélation. L'installation est presque complète, il ne manque plus que le groupe de pompage.

— Le cryostat pour le point triple de l'argon est une copie de celui qui a été étudié et mis au point ces dernières années par J. Ancsin (N.R.C.). Il se caractérise par la recherche d'une très faible capacité thermique de la chambre qui contient l'échantillon d'argon; cela est obtenu en réduisant la chambre à un simple doigt de gant autour du thermomètre à résistance en cours d'étalonnage; le doigt de gant est directement soudé à l'indium sur la paroi du thermomètre (au voisinage de la tête) qui se trouve donc en étroit contact avec l'argon sous ses trois phases. La construction du cryostat est achevée, à l'exception de la chambre-échantillon qui doit être ajustée sur un thermomètre dont on attend la livraison; il restera ensuite à mettre en place les éléments chauffants et les thermocouples.

Un point triple de l'argon, d'une réalisation totalement différente, doit être donné prochainement au B.I.P.M. par l'Institut National de Métrologie (France); il s'agit d'une cellule scellée, en acier inoxydable, analogue dans son principe à une cellule à point triple de l'eau; on réalise le palier de température en conservant la cellule dans un bain d'azote liquide maintenu sous une pression voisine de $0,2 \times 10^6$ Pa. On a commencé la construction de l'enceinte étanche spéciale qui doit contenir l'azote liquide; la soupape tarée d'ajustage de la pression est terminée.

Il sera intéressant, dès que ces deux cryostats fondamentalement différents seront en fonctionnement, de comparer les résultats obtenus pour un même thermomètre à résistance.

Température thermodynamique du point de congélation de l'or

Pour diverses raisons, il n'a pas été possible de vérifier rapidement si, lors de l'étude des filtres interférentiels, l'étalonnage du monochromateur était valable pour la longueur d'onde dans l'air ou dans le vide. L'incertitude est maintenant définitivement levée, ce qui conduit à remplacer la courbe donnée dans le Rapport de 1973 (p. 54) par une nouvelle courbe des différences entre la température thermodynamique et la température correspondante dans l'E.I.P.T.-68 (*fig. 12*).

Ces résultats ont été obtenus en prenant pour référence la température 630 °C, qui n'est malheureusement pas un point fixe de l'E.I.P.T., mais qui était la limite inférieure de température que le récepteur utilisé (tube photoélectrique Cs-Ag-O) permettait d'atteindre. Un photomultiplicateur Ga-In-As, disponible depuis peu, présente des caractéristiques (rendement quantique et courant d'obscurité) beaucoup plus intéressantes et on peut envisager maintenant de prendre le point de congélation du zinc (419 °C) pour température de référence. On cherche actuellement à acquérir un photomultiplicateur de ce type pour effectuer des mesures de rattachement entre 419 et 630 °C.

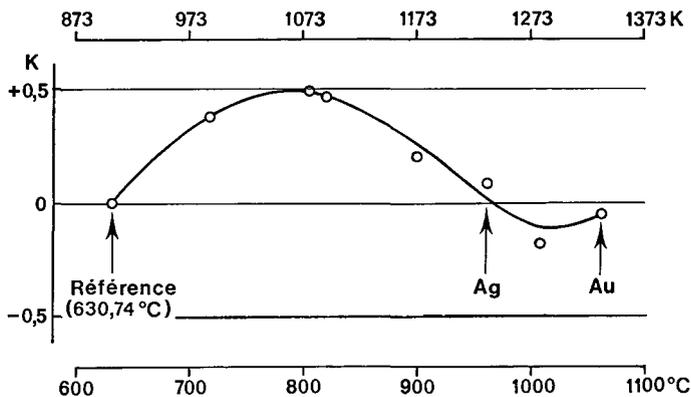


Fig. 12. — Différences $T - T_{68}$.

Études courantes

Outre les vérifications de routine des instruments du B.I.P.M., on a effectué l'étalonnage de :

— quatre thermomètres à résistance de platine, dont trois récemment acquis par le B.I.P.M. et le quatrième appartenant au Van Swinden Laboratorium (Pays-Bas);

— trois thermomètres à mercure à échelle réduite destinés à équiper des manobaromètres interférentiels.

Manométrie (J. Bonhoure)

Manobaromètre interférentiel

Dans le Rapport de 1973 (p. 55), on a indiqué les modifications apportées au manobaromètre interférentiel installé à l'Istituto Termometrico Italiano

(Turin) pour qu'il puisse fonctionner convenablement en dépit du niveau de vibration élevé du sol.

On a, en particulier, remplacé le photomultiplicateur Cs-Sb par un photomultiplicateur Cs-Ag-O, qui rend plus facile l'observation de la frange achromatique puisqu'ainsi la longueur d'onde efficace a été portée de 0,5 à 0,8 μm environ. De ce fait, la correction d'indice de réfraction de l'air qui intervient dans le calcul des pressions se trouve modifiée; on a vérifié que la variation restait petite, sinon toujours négligeable. En effet, outre le vide, c'est dans l'air et dans l'azote que les faisceaux lumineux se propagent; ces deux gaz, peu différents, ont des dispersions voisines (formules d'Edlén, et de Peck et Khama respectivement). Dans toute la gamme des pressions mesurables avec le manobaromètre (de 0 à 105 000 Pa), la correction d'indice n'est jamais modifiée de plus de 0,1 Pa par le changement de longueur d'onde efficace. On peut donc, s'il y a lieu, utiliser indifféremment l'un ou l'autre type de photomultiplicateur.

Un manobaromètre interférentiel, identique à quelques détails près à celui qui est installé au B.I.P.M., a été livré à Moscou en décembre 1973. C'est le quatrième appareil de ce type construit par les Établissements Jaeger (France). Le B.I.P.M. a procédé, avant l'expédition, au contrôle des caractéristiques de divers éléments qui équipent ce manobaromètre, mais son installation et sa mise en service n'ont pas encore eu lieu.

Un projet, déjà ancien, d'automatisation du manobaromètre interférentiel semble devoir aboutir prochainement à une étude qui serait entreprise par les Établissements Jaeger en collaboration avec le B.I.P.M. Il s'agirait d'asservir à la réponse du photomultiplicateur le mouvement du chariot qui porte la partie mobile de l'interféromètre; le déplacement du chariot serait alors mesuré par comptage de franges, à l'aide d'un laser. D'autres modifications, par exemple pour rendre automatique la mesure des températures, seraient aussi nécessaires mais elles ne présentent pas de réelle difficulté. Au préalable, le prototype installé au B.I.P.M. en 1966 doit être amélioré (addition d'une suspension par fils pour mieux filtrer les vibrations transversales, remplacement des soufflets de raccordement des chambres manométriques aux canalisations fixes par des soufflets compensés plus efficaces, renforcement de l'isolation thermique des canalisations extérieures, etc.) et remis à neuf (réaluminium des miroirs et peut-être purification du mercure).

Électricité (G. Leclerc)

Équipement

Pour rendre plus souple et plus efficace le système de régulation thermique de la cabine dans laquelle sont placés les étalons de force électromotrice du B.I.P.M., on a posé une paroi métallique devant chaque mur latéral (à 8 cm environ); dans les quatre espaces ainsi ménagés circule l'air frais qui sert à refroidir ces parois lorsque cela est nécessaire. La température de chaque paroi est réglée individuellement.

Le bain dans lequel sont immergées les piles étalons (Rapport 1968, p. 53) a lui-même été rénové. On a amélioré le dispositif de brassage de l'huile pour diminuer les turbulences (mise en place de pièces profilées pour faciliter l'écoulement, réduction du jeu entre les pales de l'hélice et la cheminée dans laquelle elle tourne); le moteur d'entraînement a été placé à

l'extérieur de la cabine. L'uniformité de la température de l'huile est maintenant assurée à 0,2 mK dans tout le bain après une demi-heure de brassage et l'élévation de la température provoquée par ce brassage ne dépasse pas 3 mK par heure.

Les chevalets ont été modifiés pour faciliter et rendre plus rapide la mise en place des piles.

Nous avons acheté un pont de comparaison pour résistances (pont Guildline à comparateur de courants) et les accessoires nécessaires pour produire et inverser des courants continus de forte intensité (jusqu'à 100 A). Ce pont servira de pont thermométrique; il nous permettra aussi d'étalonner les résistances de faible valeur (0,1 et 0,01 Ω) dans les conditions de leur utilisation, c'est-à-dire avec des courants importants.

En relation avec la mise en œuvre de l'effet Josephson, nous avons acquis huit piles non saturées et une seconde enceinte thermorégulée à 30 °C contenant quatre piles saturées.

Comparaisons périodiques des étalons nationaux de résistance et de force électromotrice

Les 13^{es} comparaisons, effectuées en 1973 et qui ont fait l'objet de deux rapports détaillés adressés aux laboratoires participants, ont donné les résultats ci-après.

a) *Étalons de résistance de 1 Ω .* — Les résultats des comparaisons des étalons de résistance de 1 Ω sont rassemblés dans le tableau IV.

TABLEAU IV

Relations entre les « unités nationales » de résistance électrique et l'unité conservée par le B.I.P.M. (Ω_{69-BI})

	Au 25 février 1973	Variations depuis 1970
Afrique du Sud (N.P.R.L.)	$\Omega_{NPRL} = \Omega_{69-BI} + 1,1_1 \mu\Omega$	
Rép. Dém. Allemande (A.S.M.W.) ..	$\Omega_{ASMW} = + 0,9_3$	+ 0,8 ₃ $\mu\Omega$
Rép. Féd. d'Allemagne (P.T.B.)	$\Omega_{PTB-69} = + 0,5_7$	+ 0,2 ₄
Australie (N.S.L.)	$\Omega_{NSL-69} = + 0,3_3$	+ 0,0 ₄
Canada (N.R.C.)	$\Omega_{NRC-69} = - 0,9_0$	- 0,4 ₃
États-Unis d'Amérique (N.B.S.)	$\Omega_{NBS} = + 0,2_0$	+ 0,1 ₇
France (L.C.I.E.)	$\Omega_{LCIE-69} = + 0,6_3$	+ 0,3 ₃
Italie (I.E.N.)	$\Omega_{IEN} = + 0,8_8$	+ 0,1 ₀
Japon (E.T.L.)	$\Omega_{ETL} = - 0,4_0$	- 0,2 ₁
Royaume-Uni (N.P.L.)	$\Omega_{NPL-69} = + 0,0_1$	- 0,3 ₀
U.R.S.S. (I.M.M.)	$\Omega_{IMM} = + 0,6_2$	+ 0,6 ₃

Bien que les faibles évolutions relatives des groupes de référence nationaux aient tendance à accentuer les écarts entre les représentations de l'ohm en usage dans les divers laboratoires, l'accord entre ces représentations reste satisfaisant.

La très bonne stabilité relative de Ω_{69-BI} par rapport à Ω_{NSL} déterminé en valeur absolue depuis le 1^{er} janvier 1969 en fonction d'une capacité calculée et d'une fréquence, confirme la bonne stabilité absolue de la référence conservée par le B.I.P.M.

b) *Étalons de résistance de 10⁴ Ω .* — Cette première comparaison internationale d'étalons de 10 000 Ω a été organisée pour estimer la précision

avec laquelle les laboratoires effectuent le passage de 1Ω à $10^4 \Omega$. De cette précision dépend en effet celle de la détermination absolue de l'ohm à partir d'une capacité calculée. Des résultats de cette comparaison, on déduit le tableau V.

TABLEAU V

*Différences entre les valeurs des « unités nationales »
de résistance électrique (tableau IV)
et celles que l'on déduirait des comparaisons des étalons de $10^4 \Omega$*

A.S.M.W.	— 0,28 $\mu\Omega$
P.T.B.	+ 0,09
N.S.L.	— 0,24
N.R.C.	— 0,19
N.B.S.	— 0,31
I.E.N.	— 0,18
E.T.L.	— 0,10
N.P.L.	— 0,42
I.M.M.	+ 1,16

L'allure systématique de ces différences paraît mettre en évidence une erreur de $0,2 \times 10^{-6}$ dans le passage de 1 à $10^4 \Omega$ effectué au B.I.P.M. Pour effectuer ce passage, nous utilisons deux « dispositifs de Hamon », l'un (prototype construit au N.S.L. par B.V. Hamon lui-même) pour passer de 1 à $10^3 \Omega$, l'autre (d'origine japonaise) pour passer de 10^3 à $10^4 \Omega$. Ainsi, en corrigeant de $+ 0,20 \mu\Omega$ les nombres du tableau V, l'accord entre les résultats obtenus d'une part avec les étalons de 1Ω et d'autre part avec les étalons de $10^4 \Omega$ est réalisé à $1 \times 10^{-7} \Omega$ près pour presque tous les laboratoires, ce qui est très satisfaisant.

c) *Étalons de force électromotrice.* — Les résultats des comparaisons des piles étalons sont rassemblés dans le tableau VI.

Il existe des différences importantes entre les résultats fournis respectivement par les deux groupes de piles du N.S.L., de l'E.T.L. et du L.C.I.E., mais on en connaît les causes : les caisses qui contenaient les étalons du N.S.L. et de l'E.T.L. ont été malmenées durant leur transport ; les deux groupes du L.C.I.E. ont été étalonnés à partir de références différentes mal rattachées l'une à l'autre.

Pour les autres laboratoires, les écarts atteignent au maximum $0,3 \mu V$, ce qui est satisfaisant ; en effet, ils résultent à la fois des variations aléatoires des piles dues à leur transport, des erreurs d'étalonnage possibles de piles conservées à des températures différentes et des incertitudes des mesures effectuées au B.I.P.M.

Quatre laboratoires utilisent l'effet Josephson pour définir leur « unité » de force électromotrice ou pour contrôler la stabilité de leurs piles de référence ; ce sont

$$\text{le N.B.S. pour lequel } V_{\text{NBS}} = \frac{h}{2e} \times 483\,593,420 \text{ GHz,}$$

$$\text{le N.S.L. pour lequel } V_{\text{NSL}} = \frac{h}{2e} \times 483\,594,0 \text{ GHz,}$$

$$\text{la P.T.B. pour laquelle } V_{\text{PTB}} = \frac{h}{2e} \times 483\,594,0 \text{ GHz,}$$

$$\text{le N.P.L. pour lequel } V_{\text{NPL}} = \frac{h}{2e} \times 483\,594,016 \text{ GHz.}$$

TABLEAU VI

Relations entre les « unités nationales » de force électromotrice et l'unité conservée par le B.I.P.M. (V_{69-BI}) au 25 février 1973

	Résultats obtenus avec		Résultats ⁽⁵⁾ officiels de la comparaison
	piles nues à 20 °C	piles dans une enceinte à 30 °C	
$V_{NPRL} = V_{69-BI}$		+ 1,57 μV	+ 1,57 μV
$V_{ASMW} =$	+ 0,51 μV		+ 0,51
$V_{PTB} =$	+ 1,38	+ 1,35	+ 1,37
$V_{NSL} =$	+ 0,98	+ 1,82	+ 0,98 ⁽⁶⁾
$V_{NRC} =$	+ 0,16	- 0,18	- 0,18
$V_{NBS} =$	- 0,06	+ 0,12	+ 0,12
$V_{LCIR} =$	+ 1,01	+ 2,54	+ 1,01
$V_{IEN} =$	+ 1,08	+ 1,12	+ 1,08
$V_{ETL} =$	+ 1,80	+ 1,19	+ 1,80
$V_{NPL} =$	+ 1,08	+ 1,23	+ 1,23
$V_{IMM} =$	+ 4,16		+ 4,16

Si l'on applique une correction aux résultats du N.B.S. et du N.P.L. donnés dans le tableau VI pour tenir compte des différences de définition et les rendre comparables aux résultats de la P.T.B. et du N.S.L., on obtient :

$$\begin{aligned} V_{PTB} &= V_{69-BI} + 1,37 \mu V \\ V_{NSL} &= V_{69-BI} + 0,98 \text{ (}^6\text{)} \\ V_{NBS} &= V_{69-BI} + 1,32 \\ V_{NPL} &= V_{69-BI} + 1,20 \end{aligned}$$

Les résultats de la P.T.B. et du N.B.S. coïncident alors entre eux à 5×10^{-8} près et à quelques 10^{-7} près avec ceux du N.S.L. et du N.P.L. Il est donc probable que dans quelques années la généralisation de la mise en œuvre de l'effet Josephson pour conserver le volt permettra d'assurer la permanence et la concordance des représentations de l'unité de force électromotrice en usage dans les divers laboratoires nationaux à 1×10^{-7} près.

Études courantes

Une trentaine de piles (nues ou conservées dans des enceintes thermo-régulées à 30 °C) et une dizaine d'étalons de résistance (de valeur comprise entre 0,1 Ω et $10^4 \Omega$) ont été étudiés pour des laboratoires ou organismes des pays suivants : Suède, Pays-Bas, Belgique, Hongrie, Tchécoslovaquie, Norvège (voir la liste détaillée à Certificats et Notes d'étude, p. 82).

⁽⁵⁾ Pour les laboratoires représentés par deux groupes de piles dans la 13^e comparaison, ce résultat est celui qui a été retenu par le laboratoire national.

⁽⁶⁾ Bien qu'il considère le résultat fourni par ses piles nues comme le plus sûr, le N.S.L. estime que l'on pourrait tenir compte des piles de son enceinte en leur attribuant un certain poids. Si on leur donne le même poids qu'aux piles nues, le résultat devient $V_{NSL} = V_{69-BI} + 1,40 \mu V$.

Mise en œuvre de l'effet Josephson (T. Witt)

Fabrication des jonctions. — D'octobre 1973 à juin 1974, nous avons préparé environ 80 séries de jonctions; une série est constituée par quatre plaquettes de verre de 25 mm × 25 mm portant chacune quatre jonctions. Pour être satisfaisante, une jonction doit avoir une résistance comprise entre 100 et 300 mΩ. Comme nous utilisons deux jonctions en série pour obtenir les 10 mV qui sont nécessaires dans notre installation de mesure, une plaquette n'est utilisable que lorsqu'elle porte au moins deux jonctions réussies. Dans ces conditions, notre pourcentage de succès a été d'environ 10 %.

La plupart de nos jonctions sont en plomb-oxyde de plomb-plomb. Elles sont très sensibles aux conditions de température et d'humidité et nous les conservons dans l'azote liquide.

Afin de réduire les difficultés de conservation, nous avons essayé de fabriquer des jonctions en plomb-oxyde d'aluminium-plomb. Nous avons conservé avec succès plusieurs de ces jonctions à la température ambiante du laboratoire pendant des durées allant jusqu'à trois mois. Par contre, à la fabrication, le pourcentage de succès est très faible.

Nous avons aussi préparé plusieurs jonctions avec des couches en alliage plomb (95 %)-indium (5 %). Cet alliage doit donner des jonctions plus robustes (?) mais nos expériences indiquent qu'il ne donne aucune amélioration du point de vue de la conservation.

Comparteur de tension. — Notre comparateur de tension comporte deux réseaux de résistances. Chaque réseau permet de réaliser un rapport de valeur nominale 100, selon qu'on utilise les connexions en série ou en parallèle. Les écarts à cette valeur nominale sont minimisés pour chaque réseau par des contrôles périodiques et éventuellement des ajustages des résistances principales, des résistances des prises de courant et des résistances des prises de tension. La différence entre cette valeur nominale et le rapport effectivement réalisé avec un réseau connecté en série et l'autre réseau connecté en parallèle est éliminée par l'échange des positions des réseaux dans le circuit. L'exactitude relative du diviseur de tension entre la pile étalon et la sortie des jonctions est ainsi de 2×10^{-8} .

Galvanomètres. — On a modifié les deux amplificateurs galvanométriques utilisés avec le comparateur de tension. Une partie du faisceau lumineux du galvanomètre primaire est prélevée et agit sur deux cellules photorésistantes disposées dans un montage en pont de Wheatstone dans lequel le détecteur est constitué par un enregistreur. Ainsi, les déviations du galvanomètre peuvent être enregistrées sur papier sans que la présence de l'enregistreur, électriquement indépendant du galvanomètre, risque de perturber le fonctionnement de l'amplificateur galvanométrique.

L'un des amplificateurs galvanométriques (celui qui est associé au circuit de la pile étalon) présentait un niveau de bruit anormal (40 nV crête à creux). Le remplacement du cadre défectueux du galvanomètre primaire a réduit ce bruit à 15 nV. Nous espérons obtenir 6 nV avec un galvanomètre d'un autre type que nous essaierons prochainement.

(?) HANSMA (P.K.), A new method for fabricating niobium oxide barrier Josephson junctions, *J. Appl. Physics*, **45**, 3, 1974, pp. 1472-1473.

Micro-ondes. — Notre source de micro-ondes est un klystron fonctionnant en bande X. Sa fréquence, stabilisée, est mesurée au moyen d'un compteur de haute résolution dont la base de temps est contrôlée par comparaison à un oscillateur stabilisé, lui-même contrôlé au moyen des émissions de la station de Droitwich.

La pureté spectrale du rayonnement produit est telle qu'au-delà de 100 Hz de la fréquence principale aucune bande latérale ne dépasse — 90 dB (relativement à la fréquence principale). Ce contrôle a été effectué au Laboratoire Central des Industries Électriques et nous remercions en particulier MM. Erard et Blouet qui ont effectué ces mesures.

Piles étalons. — Nous possédons une enceinte thermorégulée de fabrication commerciale; elle contient six piles étalons qui sont utilisées effectivement lors des mesures de $2e/h$. La température de l'enceinte est mesurée au moyen d'un pont thermométrique et d'un microvoltmètre muni d'une sortie pour un enregistreur. La liaison entre cette sortie et l'enregistreur est faite au moyen d'un circuit à photocoupleur, ce qui évite que l'enregistreur ne renvoie du bruit sur le microvoltmètre.

Nous avons reçu en juin 1974 une deuxième enceinte thermorégulée contenant quatre piles étalons. Ce groupe de piles servira de référence pour les piles de la première enceinte, qui pourront donc être mesurées avant et après chaque série de détermination de $2e/h$. Ce groupe de référence, maintenu dans un environnement à température constante, aura une température très stable. Il sera mesuré par comparaison au groupe de référence du B.I.P.M. à intervalles réguliers, par exemple toutes les six semaines. La force électromotrice des piles de la première enceinte étant mesurée directement, on évitera toute erreur qui pourrait être due à une non-concordance entre la température indiquée par le pont thermométrique et la température réelle des piles.

Mesures de $2e/h$. — Actuellement (juin 1974), nous avons fait quatre séries de mesures de $2e/h$. La valeur moyenne obtenue, qui doit être considérée comme une *valeur préliminaire*, est

$$2 \frac{e}{h} = 483\,593,22 \text{ GHz}/V_{69-BI},$$

avec un écart-type estimé à $0,14 \text{ GHz}/V_{69-BI}$, soit 3×10^{-7} en valeur relative. En tenant compte des résultats de la 13^e comparaison des étalons nationaux de force électromotrice, on constate que notre valeur préliminaire concorde avec celles qui ont été annoncées par d'autres laboratoires.

Photométrie (J. Bonhoure)

Installations de mesure

Depuis près de vingt ans, le B.I.P.M. utilise un tube photoélectrique à vide, de type Gillod-Boutry, parfaitement linéaire, comme récepteur pour la comparaison des étalons secondaires photométriques (lampes à incandescence). Ce tube photoélectrique est associé à un amplificateur à courant continu muni d'un tube électromètre; on utilise l'amplificateur en détecteur

de zéro grâce à un potentiomètre de compensation dont la lecture est donc rigoureusement proportionnelle à l'éclairement du tube photoélectrique, ce qui élimine tous les défauts de linéarité que pourrait présenter l'amplificateur. Ce type de photomètre donne entière satisfaction mais, dans certains cas, on aimerait disposer d'un dispositif plus pratique comportant, par exemple, un voltmètre numérique. On a donc construit un convertisseur courant-tension, à amplificateur opérationnel (fig. 13); au cours d'un

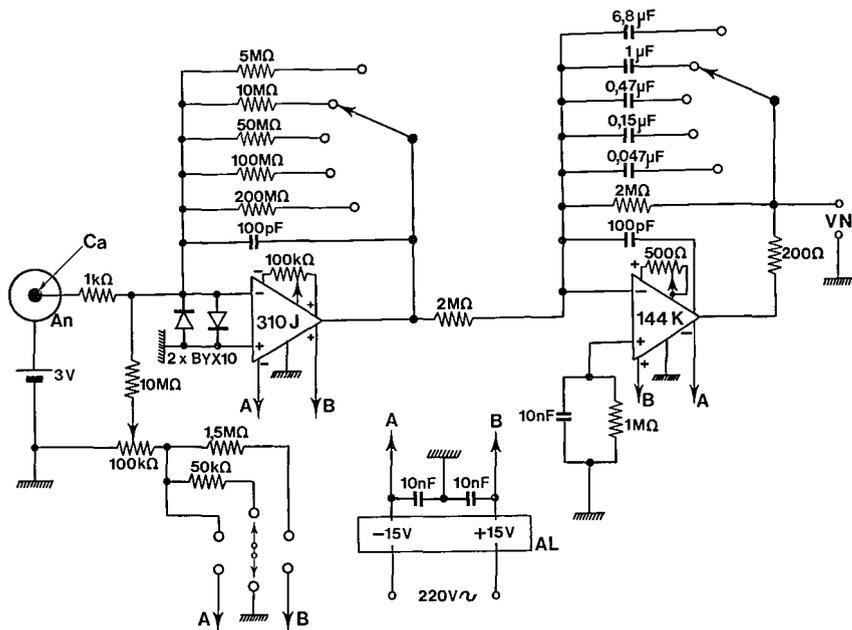


Fig. 13. — Convertisseur courant-tension à amplificateur opérationnel pour tube photoélectrique.

AL, alimentation électrique; An, anode, Ca, cathode du tube photoélectrique; VN, voltmètre numérique.

premier essai avec les composants dont nous disposions, ce dispositif a fonctionné correctement, mais avec un niveau de bruit quatre ou cinq fois supérieur à ce qu'il devrait être; on espère une amélioration avec des composants de meilleure qualité.

Photométrie hétérochrome

Dans le but de réaliser un photomètre qui permettrait la comparaison rapide et précise de lampes à incandescence réglées à des températures de répartition très différentes, on a fait un essai de photométrie hétérochrome avec des filtres interférentiels; il n'est pas nécessaire que les filtres aient une bande passante étroite et il semble que quatre filtres devraient suffire. Le calcul de sommation qu'il faut effectuer pour parvenir au rapport photométrique de deux lampes ne présente plus de difficulté aujourd'hui, même

en y introduisant les courbes de transmission des filtres et non pas simplement les longueurs d'onde moyennes des pics.

Aménagement du laboratoire et études courantes

On a amélioré le système de ventilation de la salle et d'assèchement de l'air; un chauffage thermorégulé installé à l'entrée de la gaine de distribution a permis de ramener les variations de température dans la salle à l'intérieur du kelvin.

Outre les vérifications de routine des instruments du B.I.P.M., on a effectué le contrôle de 88 lampes à incandescence (étalons d'intensité lumineuse, de flux lumineux ou de température de répartition) appartenant à des laboratoires de Pologne, d'Iran, de France, d'Afrique du Sud et de Tchécoslovaquie.

Pour constituer un groupe d'étalons de référence d'intensité lumineuse (2 859 K) plus stable et mieux reproductible que le groupe actuel, le B.I.P.M. a fait l'acquisition de quinze lampes Osram de conception nouvelle, sans crochets supports du filament.

Programme de travail futur du B.I.P.M.

L'analyse des réponses à une enquête menée auprès des membres du Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie indique que le projet d'extension en vue d'un développement progressif des mesures radiométriques et spectroradiométriques au B.I.P.M. doit être maintenu.

Rayons X et γ (A. Allisy)

Mesure de l'exposition dans le domaine des rayons X d'énergie moyenne (M. Boutillon*, M.-T. Niatel*)

L'installation destinée à ces mesures a été réalisée. Le tube à rayons X (pour le domaine de 100 à 250 kV) est fixé sur le chariot d'un banc de tour (*fig. 14*); il peut être placé de manière que l'axe du faisceau coïncide avec celui de la chambre d'ionisation utilisée. Sur l'axe de la chambre étalon du B.I.P.M., repéré à l'aide d'une lunette, on a d'abord placé le diaphragme destiné à délimiter le faisceau, puis on a centré le tube. Le contrôle de ce centrage était effectué au moyen de photographies de la tache focale selon la technique décrite antérieurement (*Procès-Verbaux C.I.P.M.*, **31**, 1963, p. 34).

Le rayonnement parasite susceptible d'atteindre les parois de la chambre étalon du B.I.P.M. (ou celles de toute autre chambre devant lui être comparée) a été étudié afin de déterminer la géométrie et l'épaisseur de la protection de plomb nécessaire pour l'éliminer.

Trente-deux filtres de cuivre ont été réalisés et leurs épaisseurs ont été mesurées. A l'aide de ces filtres, on va maintenant étudier l'atténuation du rayonnement pour diverses tensions d'alimentation du tube, ce qui permettra de déterminer les filtrations nécessaires pour obtenir les qualités de rayonnement choisies pour les comparaisons internationales par la Section I du C.C.E.M.R.I.

L'étalon pour la mesure de l'exposition dans ce domaine d'énergie est une chambre d'ionisation à parois d'air, dont les dimensions principales sont :

Espacement des plaques	18 cm
Largeur de la plaque de mesure	20 cm
Diamètre du diaphragme	0,993 9 cm
Volume de mesure	4,655 cm ³
Distance entre le plan de référence et le centre du volume de mesure	28,15 cm

On a commencé à déterminer les corrections à appliquer à l'étalon, pour les qualités de rayonnements utilisés comme références.

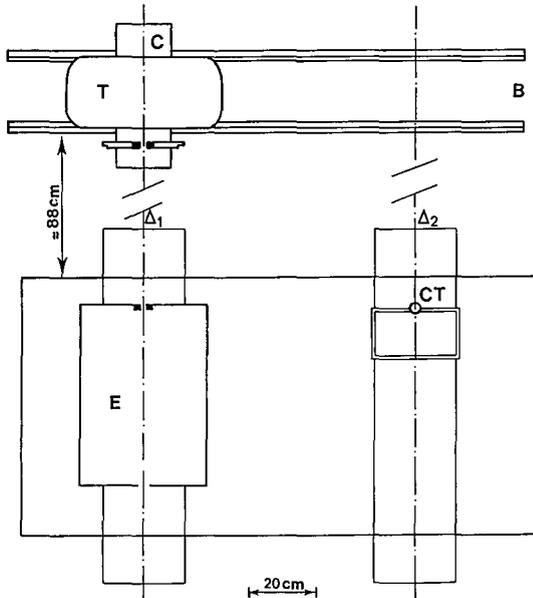


Fig. 14. — Vue de dessus schématique de l'installation pour la mesure de l'exposition (rayons X d'énergie moyenne).

Par déplacement, au moyen du chariot C, du tube T à rayons X le long du banc de tour B, on peut amener l'axe du faisceau en Δ₁, axe de la chambre étalon E, ou en Δ₂, axe de la chambre de transfert CT.

Rayonnement γ du ⁶⁰Co (M.-T. Niatel)*

a) *Mesure de l'exposition.* — Le nouveau dispositif pour la mise en place des chambres d'ionisation (Rapport 1973, p. 62) a été achevé. Cette transformation n'a pas altéré l'excellente reproductibilité à long terme des mesures d'exposition (écart-type : 10⁻⁴).

Une chambre de transfert (du type Shonka) a été étalonnée au B.I.P.M. afin de permettre une comparaison indirecte entre le N.R.C. et le B.I.P.M.

b) *Mesure de la dose absorbée produite dans un fantôme de graphite.* — Pour déterminer l'importance des inhomogénéités du graphite constituant

les disques du fantôme, on a mesuré l'atténuation du rayonnement en différentes régions de cinq disques. Les différences observées correspondent à des variations de la masse volumique dépassant souvent 2 % pour un même disque. Ces mesures ont l'inconvénient de fournir seulement des indications sur les variations relatives de la masse volumique pour des épaisseurs voisines d'une épaisseur donnée. Comme la profondeur, choisie par le C.C.E.M.R.I., à laquelle doit être mesurée la dose absorbée correspond à une masse surfacique de 5 g/cm², il est nécessaire de connaître la masse volumique de la région centrale du disque avant du fantôme. On envisage de déterminer la masse volumique d'un échantillon E de graphite de mêmes dimensions que celles de la partie de disque concernée P et de comparer les transmissions de E et P.

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

On a pu mettre au point une méthode pour déterminer la correction due aux superpositions d'impulsions. Cela nous permet de donner maintenant une valeur plus exacte du coefficient d'atténuation de l'aluminium et d'en déduire ceux des composés ou éléments étudiés (Cu, CCl₄, C₂Cl₄, Cl).

1) *Étude des superpositions d'impulsions et détermination du coefficient d'atténuation de l'aluminium.* — On a précédemment indiqué (Rapport 1973, p. 65) que l'on avait mis expérimentalement en évidence une variation, avec l'énergie E du seuil de comptage, du rapport R des taux de comptage obtenus avec et sans filtre d'aluminium; l'allure de cette variation avait été confirmée par des calculs de simulation des superpositions. Ces calculs ont été poursuivis.

La variation de R avec l'énergie E du seuil de comptage a été établie pour les taux de comptage correspondant aux épaisseurs des filtres d'aluminium utilisées expérimentalement (1 à 7 cm). Deux cas ont été étudiés pour chaque épaisseur de filtre :

- a) comptage de toutes les impulsions au-delà du seuil variable E ;
- b) comptage des impulsions supérieures au seuil variable E et inférieures à un seuil fixe E_m placé à $+ 3 \sigma$ du pic de 1,33 MeV. Dans ce cas, R ne varie pratiquement pas avec la valeur du seuil E .

Soit K_p le facteur correctif à appliquer à un rapport R pour tenir compte des superpositions d'impulsions; on a :

$$R \cdot K_p = \exp \left[- \left(\frac{\mu}{\rho} \right) \cdot \rho \cdot x \right],$$

x étant l'épaisseur du filtre, ρ sa masse volumique, et μ/ρ le coefficient d'atténuation. Le facteur K_p varie avec l'énergie E du seuil de comptage et avec l'épaisseur du filtre. A partir des résultats des calculs de simulation des superpositions, on a établi, pour un seuil donné, une loi de variation de K_p en fonction des taux de comptage C_0 (sans filtre) et C_x (avec un filtre d'épaisseur x) à l'entrée de l'amplificateur. Les calculs montrent qu'avec une bonne approximation on peut écrire $\ln K_p = \varepsilon(C_0 - C_x)$, ε étant un paramètre qui dépend principalement du mode de comptage (cas a ou b ci-dessus). Cependant, les calculs de simulation ne sont pas assez précis pour fournir une valeur suffisamment exacte de K_p . Connaissant la loi de

variation de K_p , on a choisi de déterminer les valeurs les plus probables de μ/ρ et ε à partir des mesures de R , en résolvant un système d'équations linéaires de la forme :

$$\ln R + \varepsilon(C_0 - C_m) = - \left(\frac{\mu}{\rho} \right) \cdot \rho \cdot x.$$

Les résultats obtenus pour l'aluminium dans trois conditions différentes de mesure sont donnés au tableau VII.

TABLEAU VII
Coefficient d'atténuation de l'aluminium
à une énergie de 1,33 MeV

Conditions de mesure	ε (en s ⁻¹)	μ/ρ (en cm ² /g)	Écart-type relatif sur μ/ρ
Mesures à 13 m $C_0 \approx 3\,750\text{ s}^{-1}$ (cas a)	$1,1 \times 10^{-6}$	0,053 08	$0,3 \times 10^{-3}$
Mesures à 13 m $C_0 \approx 3\,750\text{ s}^{-1}$ (cas b)	$-3,3 \times 10^{-6}$	0,053 06	$2,4 \times 10^{-3}$
Mesures à 23 m $C_0 \approx 1\,250\text{ s}^{-1}$ (cas a)	$1,0 \times 10^{-6}$	0,053 19	$0,85 \times 10^{-3}$

Les valeurs obtenues pour μ/ρ ne sont pas significativement différentes; on choisit donc comme meilleure estimation de μ/ρ la moyenne des valeurs obtenues d'une part pour les mesures à 13 m, d'autre part pour les mesures à 23 m.

Par conséquent, le coefficient d'atténuation de l'aluminium pour une énergie γ de 1,33 MeV est

$$(\mu/\rho)_{Al} = 0,053\,13\text{ cm}^2/\text{g}.$$

L'écart-type relatif sur cette valeur est estimé à $0,8 \times 10^{-3}$ avec 12 degrés de liberté effectifs. L'erreur systématique relative est estimée à $1,9 \times 10^{-3}$.

2) Valeur du coefficient d'atténuation de différents composés et éléments.

— Rappelons le principe de la méthode employée: pour un composé ou élément z , on choisit un filtre d'épaisseur x' telle que l'on ait sensiblement la même atténuation qu'avec un filtre d'aluminium d'épaisseur x . On mesure le rapport

$$r = \frac{\exp[-(\mu x')_z]}{\exp[-(\mu x)_{Al}]}$$

qui est donc voisin de 1; cela élimine un certain nombre de corrections à appliquer à chacun des termes du rapport, en particulier la correction due aux superpositions d'impulsions. On détermine le coefficient d'atténuation μ/ρ de chaque élément à partir de $(\mu/\rho)_{Al}$ obtenu précédemment et du rapport correspondant r mesuré antérieurement (Rapports 1971, p. 56 et 1973, p. 67). Le coefficient d'atténuation du chlore a été déterminé à partir de ceux de CCl_4 et C_2Cl_4 comme cela a été expliqué dans le Rapport de 1973. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau VIII.

TABLEAU VIII

Coefficients d'atténuation à une énergie de 1,33 MeV

Composés ou éléments	μ/ρ (en cm^2/g)	Écart-type relatif sur μ/ρ	Nombre de degrés de liberté	Erreur systématique relative sur μ/ρ
Cuivre (Cu)	0,050 80	$1,0 \times 10^{-3}$	30	$2,0 \times 10^{-3}$
Tétrachlorure de car- bone (CCl_4)	0,053 09	$0,8 \times 10^{-3}$	14	$2,4 \times 10^{-3}$
Tétrachloréthylène (C_2Cl_4)	0,053 25	$0,8 \times 10^{-3}$	14	$2,4 \times 10^{-3}$
Chlore (Cl)	0,052 91	$1,0 \times 10^{-3}$	25	$3,5 \times 10^{-3}$

Les coefficients d'atténuation ainsi déterminés sont inférieurs de 1 à 2×10^{-3} à ceux qui sont fournis par les compilations de J.H. Hubbell (N.B.S.), ce qui n'est pas significatif compte tenu des erreurs estimées de part et d'autre. On en conclut que la méthode mise au point pour la détermination des coefficients d'atténuation et pour l'étude de l'influence des effets de superposition d'impulsions sur les mesures est digne de confiance.

Radionucléides

Étalonnage de sources radioactives (A. Rytz, J.W. Müller)

Pour maintenir l'ensemble de comptage par coïncidences $4\pi\beta(\text{CP})-\gamma$ dans le meilleur état de fonctionnement possible, il est indispensable de l'utiliser souvent et de le surveiller de près. Ce n'est que par des mesures de contrôle fréquentes, au moyen de sources étalons diverses, que l'on peut garantir une exactitude suffisante. Cet effort permanent inclut le perfectionnement de l'équipement et de la technique de préparation des sources; il comprend également l'organisation et la mise en œuvre de comparaisons internationales.

Modernisation de l'ensemble N° 3 de comptage par coïncidences $4\pi\beta(\text{CP})-\gamma$ et contrôle de son fonctionnement

Les trois échelles de comptage et la base de temps utilisées depuis neuf ans ont été remplacées par des appareils récemment construits au B.I.P.M.; une nouvelle machine imprimante y a été ajoutée. La mise en service de ce sous-ensemble représente une amélioration considérable et constitue un pas important vers une automatisation complète des mesures.

Chaque modification des détecteurs ou du dispositif électronique rend nécessaire une série de contrôles divers qui sont parfois de longue durée.

Dans une telle expérience de contrôle (*fig. 15*), on a répété un grand nombre de fois la mesure d'une même source de ^{60}Co (232 mesures de durée 1 000 s). Ici, l'écart-type d'une mesure individuelle du taux de désintégration A_i peut être évalué de deux manières différentes. D'une part, on obtient pour chaque résultat A_i , dont la mesure a une durée t , un écart-type *interne* (en s^{-1})

$$s_i = [(A_i/t) (2\varepsilon_\beta\varepsilon_\gamma - \varepsilon_\beta - \varepsilon_\gamma + 1)/\varepsilon_\beta\varepsilon_\gamma]^{1/2}.$$

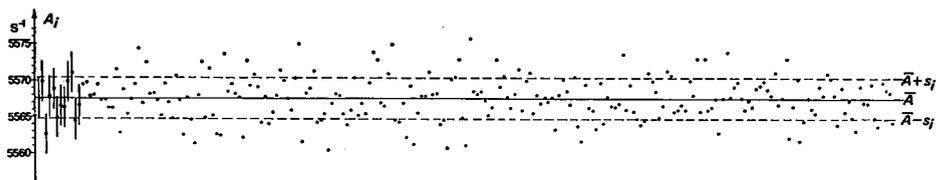


Fig. 15. — Représentation graphique des résultats (corrigés pour la décroissance) de 232 mesures successives de l'activité A_i d'une même source de ^{60}Co .

L'écart-type « interne » s_i n'est indiqué que pour les 12 premiers résultats. La distribution est symétrique par rapport à la valeur moyenne \bar{A} ; 67 % des résultats sont situés entre $\bar{A} + s_i$ et $\bar{A} - s_i$.

Dans cette formule ⁽⁸⁾, ε_β (ou ε_γ) désigne l'efficacité du détecteur β (ou γ) au rayonnement β (ou γ). Si l'une des efficacités est égale à l'unité, l'expression se réduit à

$$s_i = \sqrt{A_i/t}.$$

La valeur de s_i est fondée sur la nature aléatoire des phénomènes étudiés; elle ne varie guère d'une mesure à l'autre. L'écart-type *externe* s_e , d'autre part, est déterminé à partir des $n = 232$ résultats individuels par

$$s_e = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2}{n - 1} \right]^{1/2}.$$

où \bar{A} est la moyenne arithmétique des A_i . Les deux méthodes de calcul de l'écart-type donnent des résultats qui sont en excellent accord; cela indique que les fluctuations observées sont en effet purement statistiques. On peut d'ailleurs déduire de la figure 15 que 67 % des résultats diffèrent de la valeur moyenne de moins d'un écart-type s_i , ce qui est en plein accord avec une distribution normale. Cette expérience met en évidence l'invariabilité, pendant au moins 65 h consécutives, des conditions de mesure.

L'ensemble $4\pi\beta\text{-}\gamma$ dans son état actuel fera l'objet d'une description détaillée qui est en préparation.

Mesures d'activité de sources de ^{54}Mn par la méthode $4\pi(e, X)\text{-}\gamma$

En 1972-1973, une petite comparaison d'une solution de ^{54}Mn (voir Rapport BIPM-73/8) a montré qu'il était possible d'arriver à des résultats très concordants entre différents laboratoires. Toutefois, il n'a pas encore été possible de réduire davantage l'auto-absorption des sources préparées par évaporation de gouttes pesées. La correction dépendant du schéma de désintégration qui résulte de cette auto-absorption est encore quelque peu incertaine pour une raison qui nous échappe. L'étude se poursuit.

Les mesures de la période du ^{54}Mn , commencées en 1971, ont été complétées. Les résultats obtenus avec des sources préparées par électrolyse sont

⁽⁸⁾ CAMPION (P.J.) and TAYLOR (J.G.V.), *Int. J. Appl. Rad. and Isotopes*, **10**, 1961, p. 131.

reproduits dans le tableau IX. On constate un excellent accord avec la valeur trouvée par F. Lagoutine *et al.* (*Int. J. Appl. Rad. and Isotopes*, **19**, 1968, p. 475).

TABLEAU IX
Mesures de la période du ⁵⁴Mn

	$T_{1/2}$ et écart-type (en d)	Durée de l'expérience	
		(en d)	(en $T_{1/2}$)
Source N° 4900	312,17 ± 0,11	1 000	3,20
Source N° 7800	312,13 ± 0,12	921	2,95
Lagoutine <i>et al.</i>	312,2 ± 0,3	(non indiquée)	

Distributions de sources étalons

Des demandes de sources solides, étalonnées par le B.I.P.M., nous parviennent plusieurs fois par an; elles peuvent souvent être satisfaites dans un délai court, grâce à un stock, complété périodiquement, de quelques dizaines de sources de ⁶⁰Co et de ⁵⁴Mn. Il est important de mesurer chaque source plusieurs fois, avant de l'expédier, afin de pouvoir écarter celles qui donnent des résultats insuffisamment reproductibles.

L'Institut d'Électrochimie et de Radiochimie (I.E.R.) de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, a mesuré plusieurs de nos sources et nous a communiqué les résultats qui sont reproduits dans le tableau X.

TABLEAU X
Comparaison de mesures d'activité de sources solides

Source	N°	ϵ_{β} (en %)	Résultats de l'I.E.R.		$\frac{A_{IER} - A_{BIPM}}{A_{BIPM}}$
			A_{IER}	écart-type (en s ⁻¹)	
⁶⁰ Co	E2	97,7	3 391,24	0,84	+ 0,055 × 10 ⁻²
⁶⁰ Co	E7	97,8	4 117,79	1,03	+ 0,19
⁵⁴ Mn	E2	64,2	5 121,84	15,27	+ 0,14
⁵⁴ Mn	E6	57,8	3 021,27	9,38	+ 0,08

ϵ_{β} = efficacité du compteur proportionnel aux électrons d'Auger et aux photons X.
A = activité.

L'accord avec les résultats du B.I.P.M. est remarquable. Cependant, on peut soupçonner la présence d'une petite différence systématique; elle fera l'objet de mesures ultérieures.

Comparaisons internationales futures de radionucléides

La dernière comparaison internationale à grande échelle, organisée par le B.I.P.M., date de 1967. Tout en appréciant les résultats obtenus alors, la plupart des membres de la Section II (Mesure des radionucléides) du C.C.E.M.R.I. étaient de l'avis qu'à l'heure actuelle les intérêts de la communauté scientifique seraient mieux servis par une diffusion de rapports sur un certain nombre de sujets concernant la métrologie des radionucléides que par de grandes comparaisons internationales.

Par la suite, plusieurs de ces sujets ont été étudiés par des groupes de travail; des rapports ont été diffusés ou sont en préparation. L'un de ces groupes de travail a été chargé de soumettre des propositions pour des comparaisons internationales futures. Un questionnaire avec cinq propositions fut envoyé aux membres de la Section II qui ont répondu en donnant leur avis et en classant ces propositions par ordre de préférence décroissante de 1 à 5. Les propositions et le classement moyen tirés des douze réponses sont indiqués dans le tableau XI.

Les réponses obtenues permettront de choisir un radionucléide et d'engager les préparatifs qui comprendront de petites comparaisons préliminaires et la rédaction d'un formulaire pour y porter les résultats et tous les détails importants.

TABLEAU XI

Projets de comparaisons internationales de radionucléides

Radio-nucléides	Mesures proposées	Classement moyen tiré des 12 réponses*
	<i>A. Contrôle d'une méthode spécifiée</i>	
¹³⁹ Ce	Comptage $4\pi(e, X)-\gamma$, extrapolation à $\varepsilon(e, X) = 1$	1,7
¹³⁴ Cs	Comptage $4\pi\beta-\gamma$, extrapolation à $\varepsilon_\beta = 1$, différentes fenêtres dans voie γ ; deux solutions de concentrations différentes dans un rapport connu	2,5
⁵⁷ Co	Comptage $4\pi(e, X)-\gamma$; distribution simultanée d'une solution de ⁶⁰ Co	2,9
⁸⁵ S	Comptage $4\pi\beta-\gamma$ (méthode du traceur); distribution simultanée d'une solution de ⁶⁰ Co	4,2
	<i>B. Recherche de la plus haute exactitude possible</i>	
²⁴¹ Am ou ²⁵² Cf	Utilisation d'autant de méthodes exactes que possible	3,7

* Chaque membre a classé les cinq propositions par ordre de préférence; le chiffre 1 exprimait la plus forte préférence, le chiffre 5 la plus faible.

Essais d'une microbalance électronique

L'étude de l'utilisation d'une balance Mettler du type ME 22 pour la pesée de gouttes de solutions radioactives a été terminée. Les expériences effectuées et les résultats obtenus ont été décrits en détail dans un rapport interne (voir p. 81) qui a été distribué aux laboratoires intéressés. Pour ce domaine d'application très spécialisé, l'achat d'une balance de ce type ne se justifierait pas à l'heure actuelle; néanmoins, il faudra suivre attentivement l'évolution de cette question.

Ensemble utilisant une chambre d'ionisation à puits pour la mesure de sources émettrices de photons

L'installation de cet ensemble est terminée, grâce au concours et à l'expérience du groupe des rayons X et γ . Ce nouvel équipement doit permettre

de disposer d'une référence permanente internationale pour les sources radioactives, émettrices de photons.

Les sources à mesurer seront des solutions radioactives contenues dans des ampoules de verre normalisées. Leur rayonnement γ sera comparé à celui qui est émis par un jeu de sources solides de radium dont l'évolution est lente et connue avec une précision suffisante pendant des dizaines d'années au moins.

Une série d'expériences a été commencée afin de contrôler le fonctionnement de l'ensemble et de déterminer la sensibilité des chambres. La mesure du courant d'ionisation produit par une source placée dans le puits de la chambre est fonction de plusieurs paramètres : position de la source, tension appliquée à la chambre, qualité de l'isolement électrique, rayonnement diffusé à l'extérieur ou provenant de l'extérieur, etc. Ces influences doivent être étudiées une par une; les résultats obtenus aideront à définir le mode opératoire pour les mesures comparatives futures.

Statistiques de comptage (J.W. Müller)

Parmi les problèmes étudiés dans ce domaine, la mise en pratique de l'idée décrite dans le Rapport de 1973, p. 75, concernant la séparation quantitative entre impulsions individuelles et paires, superposées au hasard dans un processus de comptage, a occupé une place prépondérante. La situation actuelle, très prometteuse, sera brièvement décrite.

La comparaison internationale de mesure de débits de fluence de neutrons, organisée par le B.I.P.M., a soulevé le problème général du lissage d'un spectre expérimental mesuré à l'aide d'un sélecteur multicanaux. Le but est de réduire autant que possible les fluctuations statistiques sans introduire de déformations systématiques, permettant ainsi une détermination plus précise des paramètres caractéristiques tels que l'aire (intensité) et la position (énergie) des raies observées.

Quelques autres travaux de moindre importance ne seront pas décrits; ils sont énumérés dans la liste des publications. En outre, une partie considérable du temps a été consacrée à l'analyse d'une comparaison internationale de dosimétrie de neutrons rapides (INDI), organisée par l'I.C.R.U., qui a eu lieu à Brookhaven (États-Unis).

a) Mesure d'impulsions secondaires

La proposition de détecter des impulsions arrivant sous forme de paires par un comptage qui ne distingue qu'entre des nombres pairs et impairs

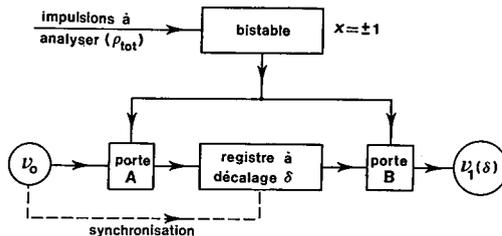


Fig. 16. — Schéma du corrélateur permettant de mesurer des impulsions secondaires.

d'enregistrements (voir Rapports BIPM-72/14 et 73/10) a été mise à l'épreuve entre temps. La figure 16 rappelle le schéma du dispositif utilisé, construit au B.I.P.M. par P. Bréonce.

Les portes A et B s'ouvrent et se ferment simultanément à un rythme qui est imposé par l'arrivée des impulsions. D'autre part, une impulsion émise par l'oscillateur à la fréquence ν_0 n'arrive à la sortie que si les deux portes sont ouvertes. Puisque l'impulsion qui cherche à passer par les deux portes n'arrive à B qu'après un retard δ produit par le registre à décalage, B ne sera ouverte que si un nombre pair d'impulsions sont arrivées dans l'intervalle de temps δ .

De façon générale, la fonction d'autocorrélation associée à un processus $x(t)$ est définie par

$$R(\delta) = E\{x(t) \cdot x(t + \delta)\}.$$

Pour notre choix de x qui n'admet que les deux valeurs $+1$ et -1 , on en déduit

$$\begin{aligned} R(\delta) &= \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \cdot \text{Prob}(k) = \text{Prob}(k \text{ pair}) - \text{Prob}(k \text{ impair}) \\ &= 2 \cdot \text{Prob}(k \text{ pair}) - 1, \end{aligned}$$

où k est le nombre d'impulsions comptées dans l'intervalle de temps δ . Quant à la mesure expérimentale de $R(\delta)$, on a (fig. 16)

$$\nu_1(\delta)/\nu_0 = \text{Prob}(A \text{ ouverte}) \cdot \text{Prob}(B \text{ ouverte}) = \frac{1}{2} \cdot \text{Prob}(k \text{ pair}),$$

si $\nu_1(\delta)$ est le taux moyen des impulsions qui ont réussi à franchir les deux portes. Par conséquent, la relation

$$R(\delta) = \frac{4\nu_1(\delta)}{\nu_0} - 1$$

permet toujours de déterminer expérimentalement la fonction d'autocorrélation.

Si le processus étudié est en réalité une *superposition*, $k = k_1 + 2k_2$, où k_1 et k_2 désignent respectivement le nombre d'impulsions simples et le nombre de paires dans δ .

Puisque $\text{Prob}(k \text{ pair}) = \text{Prob}(k_1 \text{ pair})$, on a toujours

$$R(\delta) = \sum_{k_1=0}^{\infty} (-1)^{k_1} \cdot \text{Prob}(k_1).$$

En général, la décomposition du taux expérimental ϱ_{tot} en ses composantes

$$\varrho_{\text{tot}} = \varrho_1 + 2\varrho_2$$

dépend de l'intervalle de mesure δ que l'on choisit. En particulier, ϱ_2 disparaît pour $\delta \rightarrow 0$ parce que les partenaires formant une paire sont séparés

par un intervalle de temps moyen $T > 0$. Posons cependant

$$\lim_{\delta \gg \infty} \varrho_1 = \varrho_s \quad \text{et} \quad \lim_{\delta \gg \infty} \varrho_2 = \varrho_p.$$

Le taux de comptage apparent pour ϱ_1 est donc une fonction de δ qui dépend de la densité de probabilité $f(t_0)$ de l'intervalle t_0 entre impulsions primaire et secondaire.

En particulier, on obtient

— pour $f(t_0) = \frac{1}{T} \exp(-t_0/T)$, avec $t_0 > 0$:

$$\varrho_1(\delta) = \varrho_s + 2\varrho_p \left[\frac{1 - \exp(-\delta/T)}{\delta/T} \right],$$

et

— pour $t_0 = T$:

$$\varrho_1(\delta) = \begin{cases} \varrho_s + 2\varrho_p & \text{si } \delta \leq T \\ \varrho_s + 2\varrho_p \cdot (T/\delta) & \text{si } \delta \geq T. \end{cases}$$

On remarque que, indépendamment de la répartition exacte de t_0 , le taux apparent des impulsions individuelles tend vers

$$\varrho_1 = \begin{cases} \varrho_s + 2\varrho_p = \varrho_{\text{tot}} & \text{pour } \delta \ll T \\ \varrho_s & \text{pour } \delta \gg T. \end{cases}$$

Puisque la fonction d'autocorrélation, pourvu que le processus original soit poissonien, est toujours donnée par

$$R(\delta) = \exp(-2\varrho_1\delta),$$

il suffit de contrôler si ϱ_1 reste constant ou change en fonction du retard δ , pour détecter la présence de paires. L'interprétation des résultats expérimentaux peut se faire à l'aide du graphique indiqué à la figure 17 où tout écart par rapport à une ligne droite indique la présence d'impulsions secondaires. Pour éprouver cette méthode de détermination du taux de paires (ou d'impulsions secondaires), nous avons superposé artificiellement des impulsions simples et doubles dont les taux étaient bien connus. Puis cette série a été analysée expérimentalement, à l'aide du corrélateur décrit ci-dessus, pour voir si la fonction $R(\delta)$ montrait le comportement attendu. La figure 17 donne un exemple (pour $t_0 = T$), et l'on constate que la courbe expérimentale correspond fort bien aux prévisions, c'est-à-dire que

$$-\ln R(\delta) = \begin{cases} 2\varrho_{\text{tot}}\delta & \text{pour } \delta \leq T \\ 2\varrho_{\text{tot}}\delta - 4\varrho_p(\delta - T) & \text{» } \delta \geq T. \end{cases}$$

Puisque ϱ_{tot} se mesure directement avec beaucoup de précision, la ligne droite qui correspond à l'absence de paires peut être déterminée à l'avance, ce qui facilite la détection d'une éventuelle déviation. Pour des mesures de haute précision, il est nécessaire de tenir compte de l'influence du temps mort τ sur la fonction d'autocorrélation. Pour $\tau < \delta$, cela peut se faire, au moins de façon approximative (voir Rapport BIPM-70/8), si l'on remplace dans la dernière formule ϱ_{tot} par $\varrho_{\text{tot}}(1 + 2\varrho_{\text{tot}}\tau)$. De multiples mesures ont montré que la présence d'impulsions secondaires peut

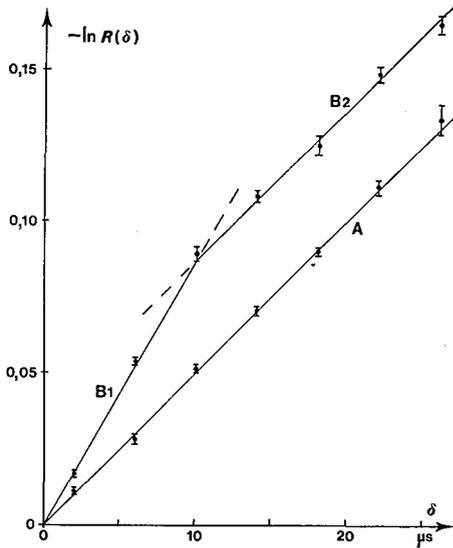


Fig. 17. — Mesure expérimentale de la fonction d'autocorrélation $R(\delta)$, avec les paramètres approximatifs :

- A) $\varrho_s = 2\,500\text{ s}^{-1}$, $\varrho_p = 0$.
- B) $\varrho_s = 2\,500\text{ s}^{-1}$, $\varrho_p = 900\text{ s}^{-1}$, $T = 10\ \mu\text{s}$.

être bien établie, même pour un rapport aussi bas que $\varrho_p/\varrho_{\text{tot}} = 0,005$. La méthode semble donc suffisamment sensible pour être d'un intérêt pratique dans la mesure d'impulsions secondaires.

b) Lissage d'un spectre expérimental

Soit un spectre expérimental donné sous forme de valeurs numériques y_i , qui représentent par exemple le contenu des canaux équidistants x_i . La méthode utilisée pour effectuer le lissage, qui n'est d'ailleurs pas nouvelle, consiste à faire un ajustement local des points voisins (au nombre de $n = 2m + 1$) par un polynôme de degré $p < 2m$ (fig. 18).

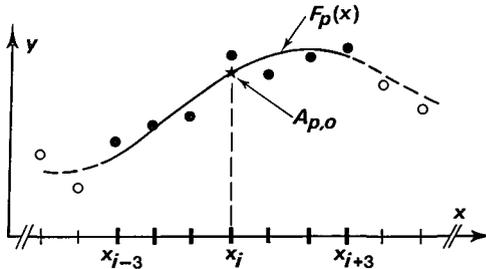


Fig. 18. — Représentation schématique de l'ajustement local d'un polynôme $F_p(x)$ aux mesures y_i au voisinage de x_i (pour $m = 3$).

$A_{p,0}$ correspond à la valeur lissée du point central x_i .

Ce procédé est à la fois très simple et souple. En particulier, aucune hypothèse n'est faite sur la forme analytique des courbes observées dans le spectre qui peuvent s'écarter sensiblement d'une simple gaussienne. En s'appuyant sur la méthode des moindres carrés, les coefficients $A_{p,k}$ de ce polynôme

$$F_p(x_i) = \sum_{k=0}^p A_{p,k} \cdot x_i^k$$

se déterminent à l'aide des équations normales correspondantes, qui peuvent être écrites sous la forme

$$\sum_{k=0}^p S_{r+k} \cdot A_{p,k} = G_r, \quad \text{avec} \quad 0 \leq r \leq p,$$

où

$$S_r \equiv \sum_{j=-m}^m j^r \quad \text{et} \quad G_r \equiv \sum_{j=-m}^m j^r \cdot y_{i+j}.$$

En choisissant le point central x_i comme origine momentanée, on obtient pour sa valeur ajustée et ses dérivées

$$F_p^{(k)}(0) = k! \cdot A_{p,k}, \quad k = 0, 1, \dots, p.$$

Le problème de déterminer les valeurs ajustées et leurs dérivées est donc équivalent à l'évaluation des coefficients $A_{p,k}$. Le fait que $S_r = 0$ pour k impair entraîne une décomposition du système d'équations normales en deux groupes et l'on peut en déduire que

$$A_{p,k} = A_{p+1,k}$$

pourvu que p et k aient la même parité. Une étude plus détaillée des équations normales révèle également que les coefficients sont toujours de la forme

$$A_{p,k} = \frac{1}{k!} \sum_{j=-m}^m y_{i+j} \cdot {}_k g_j,$$

d'où aussi

$$F_p^{(k)}(x_i) = y_i \star {}_k g_i.$$

L'ajustement correspond donc formellement à une convolution des données originales y_i avec une fonction discrète ${}_k g_i$. Puisque

$${}_k g_i = \begin{cases} {}_k g_{-i} & \text{pour } k \text{ pair} \\ -{}_k g_{-i} & \text{pour } k \text{ impair,} \end{cases}$$

où toutes les valeurs sont rationnelles, on peut aussi écrire

$$F_p^{(k)}(x_i) = \begin{cases} \left({}_k C_0 \cdot y_i + \sum_{j=1}^m {}_k C_j \cdot D_j^+ \right) / {}_k N & \text{pour } k \text{ pair} \\ \left(\sum_{j=1}^m {}_k C_j \cdot D_j^- \right) / {}_k N & \text{pour } k \text{ impair,} \end{cases}$$

avec $D_j^\# \equiv y_{i+j} \pm y_{i-j}$; ${}_kN$ et ${}_kC_j$ sont des nombres entiers. Pour des paramètres p et m donnés, le facteur de normalisation ${}_kN$ est choisi de sorte que les coefficients correspondants ${}_kC_j$ n'aient plus de facteur commun.

L'ajustement d'après la dernière formule est donc facile si l'on dispose d'une tabulation des grandeurs ${}_kC_j$ et ${}_kN$ qui soit suffisamment complète pour tous les besoins pratiques. Depuis une dizaine d'années, on se servait des valeurs numériques publiées par A. Savitzky et M.J.E. Golay ⁽⁹⁾ qui semblaient bien convenir aux exigences pratiques. Or, quelques-unes de nos applications numériques ont parfois donné des résultats tellement peu vraisemblables que des doutes à l'égard des coefficients utilisés étaient difficiles à écarter et nous avons finalement décidé de les recalculer. Cette nouvelle tabulation, bien que très fastidieuse à établir, n'était point superflue : parmi les 389 valeurs calculées, 326 couvrent le même domaine que l'ancienne tabulation, dans laquelle 62 se sont révélées erronées. Le tableau XII donne un extrait de la nouvelle tabulation. On a choisi les coefficients servant à déterminer la dérivée première pour un polynôme d'ordre 5, cas qui était particulièrement truffé de valeurs fausses.

TABLEAU XII

*Extrait de la nouvelle tabulation des coefficients ${}_kC_j$,
pour $k = 1$ et $p = 5$*

Ces valeurs permettent d'obtenir la dérivée première d'un spectre expérimental à l'aide d'un ajustement par un polynôme d'ordre 5.

m	${}_1N$	${}_1C_1$	${}_1C_2$	${}_1C_3$	${}_1C_4$	${}_1C_5$
3	60	45	— 9	1		
4	8 580	2 879	2 269	— 1 381	254	
5	17 160	3 084	3 774	1 249	— 2 166	573
6	291 720	31 380	45 741	33 511	12	— 27 093
7	2 519 400	175 125	279 975	266 401	130 506	— 65 229
8	503 880	23 945	40 483	43 973	32 306	8 671
9	9 806 280	332 684	583 549	686 099	604 484	348 823
10	637 408 200	15 977 364	28 754 154	35 613 829	34 807 914	26 040 033

m	${}_1C_6$	${}_1C_7$	${}_1C_8$	${}_1C_9$	${}_1C_{10}$
6	9 647				
7	— 169 819	78 351			
8	— 16 679	— 24 661	14 404		
9	— 9 473	— 322 378	— 349 928	255 102	
10	10 949 942	— 6 402 438	— 19 052 988	— 16 649 358	15 033 066

Compte tenu du danger de commettre de nouvelles erreurs dans les calculs (qui dépassent la capacité de notre ordinateur pour les calculs en nombres entiers), il nous a semblé essentiel de disposer de quelques contrôles. Dans ce but, l'interprétation du lissage comme convolution a été particulièrement utile, permettant ainsi de prévoir quelques moments des fonc-

⁽⁹⁾ *Analytical Chemistry*, **36**, 1964, p. 1627.

tions ${}_k g_i$; cela a conduit aux relations suivantes :

$$\sum_{j=1}^m j^{2r+k} \cdot {}_k C_j = 0, \quad \text{si} \quad p \geq 2r + k, \quad (r = 1, 2, \dots)$$

et

$$\frac{2}{k!} \sum_{j=1}^m j^k \cdot {}_k C_j + \delta_{0k} \cdot {}_0 C_0 = {}_k N.$$

Notons que toutes les nouvelles valeurs de ${}_k C_j$ et ${}_k N$ ont été trouvées en accord avec ces contraintes. Pour plus de détails techniques sur ce procédé de lissage on consultera le Rapport BIPM-74/1 qui contient aussi tous les coefficients nécessaires pour déterminer les valeurs ajustées et les dérivées premières ($k = 0$ et 1) à l'aide de polynômes de degrés p de 2 à 6 et pour un nombre de points allant jusqu'à 21 ($m = 10$). Un programme d'ordinateur qui fait les lissages nécessaires pour les spectres mesurés lors de la présente comparaison internationale de neutrons rapides est à la disposition des intéressés; il peut être aisément adapté à des applications semblables.

Suivant une suggestion de L. Van der Zwan du N.R.C., on a également calculé les coefficients servant à déterminer la dérivée seconde. Il nous a fait remarquer qu'en mesurant le spectre des protons de recul, le spectre des neutrons correspondants est obtenu par différentiation. Par conséquent, pour déterminer la position exacte des raies, on aura besoin de la dérivée seconde du spectre mesuré. Pour réduire l'effort de calcul, on s'est contenté de polynômes jusqu'à $p = 5$. Une comparaison des 140 nouveaux coefficients ainsi obtenus avec l'ancienne tabulation de Savitzky *et al.* y fait découvrir 70 autres valeurs erronées. La détection de neutrons par des protons de recul est une technique que l'on envisage d'employer prochainement aussi au B.I.P.M.

Spectrométrie alpha (A. Rytz)

Les 37 résultats obtenus au cours des cinq dernières années avec le spectrographe magnétique du B.I.P.M. portent sur 24 émetteurs de particules α différents et représentent un ensemble cohérent d'étalons d'énergie.

Compte tenu de l'importance de ces résultats pour la systématique des masses atomiques et la spectroscopie du rayonnement α , il est hautement désirable que cette liste soit encore élargie. Toutefois, il a paru préférable de suspendre les mesures pendant au moins un an, pour que les expériences ultérieures puissent être effectuées dans les meilleures conditions possibles. Ce délai permet de remettre en état ou de remplacer certaines parties de l'équipement et de laisser décroître à un niveau négligeable la contamination radioactive de la chambre à vide, causée par les dernières mesures du ^{210}Po .

Système pour le vide

Après révision de la pompe turbomoléculaire et réparation de l'alimentation de la jauge à ionisation, il est désormais possible d'atteindre une pression de 0,2 mPa ($1,5 \times 10^{-6}$ mmHg) avec une plaque photographique

mise en place. Cela rétablit ou dépasse légèrement le meilleur vide atteint tout au début des expériences.

Stabilisation du champ magnétique

La construction d'une nouvelle sonde à résonance de protons et d'un nouvel oscillateur à haute fréquence pour cette sonde a déjà apporté une amélioration notable. L'ajustement du couplage avec l'oscillateur pilote et le changement de fréquence peuvent être effectués plus aisément. Le rapport signal/bruit a pu être amélioré considérablement, surtout pour la valeur maximale du champ. Une nouvelle construction des autres circuits électroniques est en cours et promet une stabilisation plus sûre et plus efficace.

Nouveau spectrographe

Le spectrographe proprement dit comprend une fente, un support de plaques photographiques avec son système de marqueurs de référence, et une barre rigide qui relie les deux pièces entre elles. L'ancienne construction présente certains défauts; en outre, elle est légèrement contaminée. Pour la remplacer, un appareil a été conçu selon des idées partiellement nouvelles. La construction des marqueurs n'est pas encore au point; plusieurs essais seront nécessaires pour trouver une solution satisfaisante et simple à mettre en œuvre.

Valeurs recommandées d'énergies de particules α

La publication du « Catalogue of recommended alpha energy and intensity values » (voir Publications extérieures, p. 80) a suscité un vif intérêt. Les valeurs d'énergie seront largement utilisées comme données initiales pour la prochaine évaluation des masses atomiques. De nouveaux résultats sont collectés au fur et à mesure de leur parution et seront incorporés dans une mise à jour ultérieure.

Mesures neutroniques (V.D. Huynh)

Introduction

L'activité du groupe de mesures neutroniques a été consacrée essentiellement à la comparaison internationale des mesures de débits de fluence de neutrons rapides monocinétiques. En effet, le B.I.P.M. a été chargé par la Section III du C.C.E.M.R.I., d'une part de l'étude et de la construction de l'un des trois instruments de transfert choisis pour cette comparaison, d'autre part de veiller au fonctionnement correct de ces instruments de transfert dans tous les laboratoires participant à la comparaison. Nous résumons dans le tableau XIII le choix de ces détecteurs pour chacun des trois domaines d'énergie à comparer.

L'ensemble sphère de polyéthylène et compteur à BF_3 (fig. 19) a été étudié et fourni par le B.I.P.M. (Rapport 1973, p. 79). Le compteur est

TABLEAU XIII
Choix des instruments de transfert

Énergie des neutrons	1 ^{er} instrument de transfert	2 ^e instrument de transfert
250 keV (565 keV en option)	sphère de polyéthylène + compteur à BF ₃	compteur proportionnel à ³ He
2,50 MeV (2,20 MeV en option)	»	»
14,8 MeV	feuille de fer, ⁵⁶ Fe(n, p) ⁵⁶ Mn	chambre à fission ²³⁵ U

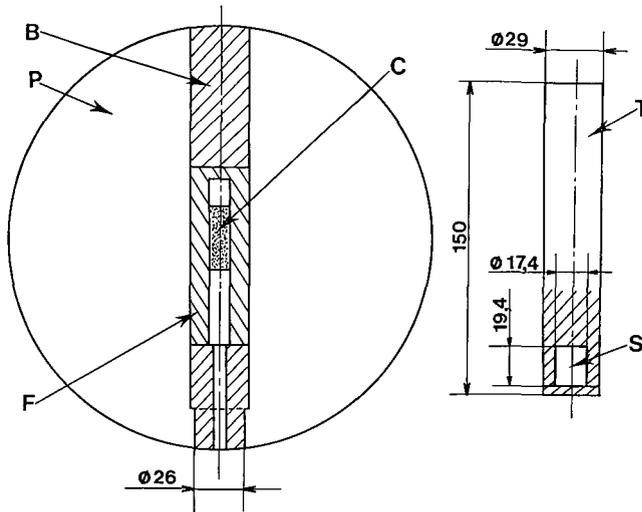


Fig. 19. — Sphère de polyéthylène et compteur à BF₃ du B.I.P.M.
(cotes en millimètres).

P, sphère de polyéthylène, diamètre 203 mm; B, bouchon de polyéthylène que l'on enlève pour mettre la source; F, fourreau de polyéthylène contenant le compteur à BF₃, type LMT 0,2NE3/1F; C, partie active du compteur, diamètre 10 mm, longueur 30 mm; T, tige de polyéthylène contenant la source que l'on met à la place du bouchon B; S, source Am-Be(α , n) de 100 mCi, taux d'émission de neutrons $2,2 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$.

placé au centre de la sphère. Une source Am-Be de 100 mCi, que l'on peut introduire dans la sphère à proximité du compteur, permet de contrôler le seuil de discrimination, ainsi que la stabilité du compteur.

Le compteur proportionnel à ³He (longueur active 10,2 cm, diamètre 2,44 cm) a été fourni par le N.R.C. Il a été construit par la société américaine Texas Nuclear Corporation et est rempli avec de l'hélium 3 sous une pression de 10⁶ Pa. Il faut mentionner ici que les essais effectués au N.R.C. pour les neutrons de 2,50 MeV ont révélé une réponse spectrale non satisfaisante de ce compteur; on a donc abandonné l'idée d'utiliser ce détecteur comme second instrument de transfert dans cette région d'énergie.

La chambre à fission a été construite et fournie par le N.B.S.; elle est en fait constituée de deux chambres appelées chambre T (« top ») et chambre B (« bottom ») (fig. 20). On utilise comme supports deux feuilles de platine

disposées dos à dos, portant chacune un dépôt de ^{238}U de masse surfacique 1 mg/cm^2 sur une surface de $1,3 \text{ cm}^2$. Le gaz qui circule à travers la chambre est du méthane pur.

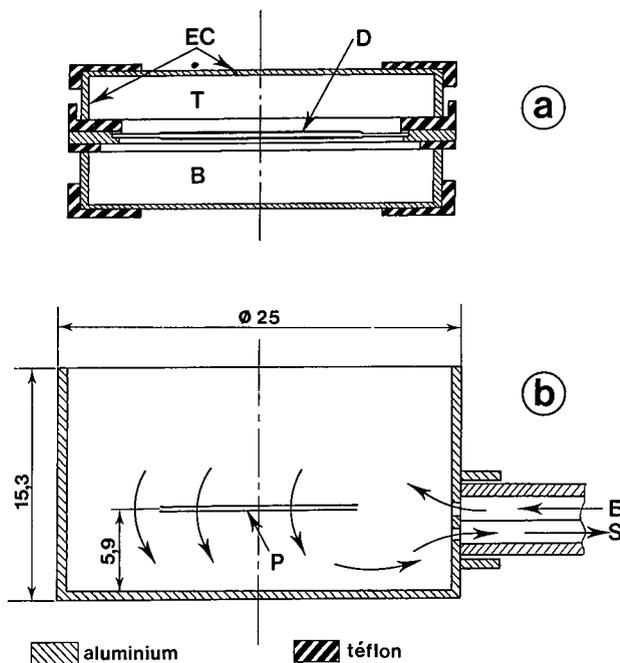


Fig. 20. — Chambre à fission construite par le N.B.S.
(cotes en millimètres).

a. Chambre à fission : T, chambre supérieure; B, chambre inférieure; EC, électrodes de collection des ions; D, dépôts de ^{238}U , 1 mg/cm^2 , surface $1,3 \text{ cm}^2$, sur feuilles de platine (support à la masse).

b. Enveloppe de la chambre à fission : P, position des dépôts; E, entrée, S, sortie du méthane.

Le N.P.L. a accepté d'étudier la méthode de $^{56}\text{Fe}(n, p)^{56}\text{Mn}$. Afin d'envisager la possibilité d'un comptage β , il a fait circuler une feuille de ^{60}Co parmi les laboratoires participant à la comparaison à $14,8 \text{ MeV}$.

Nous rappelons que dans la comparaison internationale il s'agit de mesurer la sensibilité ε de chaque instrument de transfert, définie comme le quotient du taux de comptage du détecteur par le débit de fluence de neutrons. En pratique, tous les laboratoires mesurent le débit de fluence de neutrons par l'intermédiaire d'une grandeur φ_n , nombre de neutrons émis par unité d'angle solide dans la direction du détecteur; il est donc plus commode de comparer directement, pour une distance source-détecteur d choisie, le rapport $\varepsilon_\Omega = N_c/\varphi_n$, où N_c est le comptage de l'instrument de transfert. On a la relation $\varepsilon = \varepsilon_\Omega \times d^2$.

Pour une raison de commodité, ε_Ω sera encore appelé, dans la suite, *sensibilité* de l'instrument de transfert.

Mesure au B.I.P.M. de la sensibilité de l'ensemble sphère de polyéthylène et compteur à BF_3 .

Le B.I.P.M. participe seulement à la comparaison à 2,50 MeV, car il ne dispose que d'une source de neutrons rapides monocinétiques produite par la réaction $\text{D}(\text{d}, \text{n})^3\text{He}$. En ce qui concerne le nombre de neutrons émis par unité d'angle solide, φ_n , dans la direction de la sphère de polyéthylène, il est mesuré à partir du comptage des ^3He (méthode de la particule associée) à l'aide d'un détecteur à jonction. On a :

$$\varphi_n = N_{\text{He}} \cdot \frac{1}{\Omega_{\text{He}}} \cdot \frac{k_{\text{He}}}{k_n},$$

où

N_{He} est le nombre de ^3He comptés par la jonction,

Ω_{He} est l'angle solide couvert par le détecteur à jonction dans le système du laboratoire,

k_{He} et k_n sont les facteurs de conversion des angles solides du système du laboratoire au système du centre de masse, respectivement pour les ^3He et pour les neutrons.

D'autre part, nous mesurons N_{He} à fort courant cible par l'intermédiaire du comptage de protons produits par la réaction associée $\text{D}(\text{d}, \text{p})^3\text{H}$, c'est-à-dire :

$$N_{\text{He}} = f_{\text{He}} \cdot N_{\text{H}},$$

où N_{H} est le nombre de protons comptés par la jonction et f_{He} est le rapport des comptages $N_{\text{He}}/N_{\text{H}}$ qui est obtenu lorsqu'on travaille avec un courant cible faible (Rapport 1972, p. 79).

Ainsi, la sensibilité ε_{Ω} , à comparer d'un laboratoire à l'autre, est donnée par la relation suivante dans le cas du B.I.P.M. :

$$\varepsilon_{\Omega} = (N_{\text{BF}_3} \cdot f_n) / \left[\frac{N_{\text{H}} \cdot f_{\text{He}}}{\Omega_{\text{He}}} \cdot \frac{k_{\text{He}}}{k_n} \right],$$

où N_{BF_3} est le comptage du compteur à BF_3 lorsque la sphère est placée à une distance d de la cible et f_n est un facteur qui tient compte de la contribution des neutrons diffusés.

Expérimentalement, nous travaillons avec une énergie de deutons de 140 keV; la mise en service d'un nouveau porte-cible avec observation des particules ^3He à 78° nous permet alors de mesurer le débit de fluence de neutrons à 2,50 MeV.

Pour déterminer le rapport $N_{\text{He}}/N_{\text{H}}$, nous travaillons avec un courant cible de $1 \mu\text{A}$ seulement; dans ce cas, la jonction est placée à 9,45 cm de la cible et un plastique scintillant est placé soit à 8 cm, soit à 10 cm et à 86° par rapport à la direction du faisceau de deutons incidents. Le spectre en amplitude des particules ^3He en coïncidence avec les neutrons détectés par le plastique scintillant permet de déterminer la fraction des ^3He comptés dans une bande d'amplitude par rapport au spectre total et de déduire le nombre total des ^3He comptés par la jonction. Nous obtenons ainsi le rapport

$$\frac{N_{\text{He}}}{N_{\text{H}}} = f_{\text{He}} = 1,020 \pm 0,010.$$

Pour déterminer le rapport $N_{\text{BF}_3}/N_{\text{H}}$ et le facteur f_n , nous travaillons avec un courant cible de 200 μA . Le taux d'émission de la source de neutrons est $\approx 4 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$. La sphère est placée à 86° et à 1,50 m, la jonction à 78° et à 19,45 cm et le plastique scintillant à 0° et à 1,998 m. Ce dernier sert à contrôler la stabilité de la jonction.

Le tableau XIV donne la contribution des neutrons diffusés, f_d , en fonction de la distance sphère-cible d (elle est déterminée par la loi de l'inverse du carré de la distance).

TABLEAU XIV

Contribution des neutrons diffusés en fonction de la distance sphère-cible

d (en cm)	55	70	100	150	200
f_d (en %)	2,5	4,0	7,7	15,8	25,1

Pour la sphère placée à 1,50 m, on a donc

$$f_n = 0,842 \pm 0,010.$$

Le tableau XV donne les résultats expérimentaux sur le rapport

TABLEAU XV

Résultats expérimentaux concernant le rapport $N_{\text{BF}_3}/N_{\text{H}}$ et la sensibilité ϵ_Ω pour trois compteurs

Compteur N° 20030			Compteur N° 3002		
Date	$N_{\text{BF}_3}/N_{\text{H}}$	ϵ_Ω^*	Date	$N_{\text{BF}_3}/N_{\text{H}}$	ϵ_Ω^*
1973			1973		
13 nov.	$2,397 \times 10^{-2}$	$7,120 \times 10^{-6}$	16 nov.	$2,392 \times 10^{-2}$	$7,105 \times 10^{-6}$
14 "	2,399	7,124	16 "	2,411	7,163
14 "	2,430	7,218	17 "	2,429	7,215
15 "	2,426	7,207			
19 "	2,416	7,177			
20 "	2,392	7,107	Moyenne	$2,411 \times 10^{-2}$	$7,161 \times 10^{-6}$
1974			Compteur N° 3004		
5 fév.	2,425	7,204	Date	$N_{\text{BF}_3}/N_{\text{H}}$	ϵ_Ω^*
6 "	2,424	7,200	1974		
8 avr.	2,407	7,150	7 fév.	$2,473 \times 10^{-2}$	$7,345 \times 10^{-6}$
10 "	2,416	7,178	7 "	2,472	7,342
10 "	2,405	7,143			
Moyenne	$2,412 \times 10^{-2}$	$7,166 \times 10^{-6}$	Moyenne	$2,473 \times 10^{-2}$	$7,344 \times 10^{-6}$

* ϵ_Ω est exprimé en nombre de coups pour 1 neutron par stéradian.

$N_{\text{BF}_3}/N_{\text{H}}$, ainsi que la sensibilité ϵ_Ω avec les compteurs N° 20030, N° 3002 et N° 3004. Le compteur N° 20030 sert comme instrument de transfert

dans la comparaison internationale, tandis que les deux autres compteurs sont mesurés et mis en réserve pour remplacer le premier en cas de panne.

TABLEAU XVI

Estimation des erreurs relatives totales

Grandeurs	Erreur relative totale (en %)
N_{BF_3}/N_H	1,0
f_n	1,0
f_{He}	1,0
k_{He}/k_n	négligeable
Q_{He}	0,5
ε_D	3,5

Le tableau XVI résume les erreurs relatives totales (statistique + systématique) sur les différentes grandeurs intervenant dans la détermination de ε_D .

Premiers résultats de la comparaison internationale des mesures de débits de fluence de neutrons rapides

Le tableau XVII résume l'ensemble des résultats donnant la sensibilité ε_D des instruments de transfert pour les cinq laboratoires qui ont déjà participé à la comparaison.

Les erreurs mentionnées sont les erreurs relatives totales (statistique + systématique) estimées pour chaque laboratoire participant à la comparaison.

Travaux d'électronique et de mécanique

Un scintillateur de stilbène accolé à un photomultiplicateur du type 56 AVP, avec le circuit de discrimination neutron-gamma, a été mis en service récemment en vue d'estimer quelle est l'importance de la contribution des rayons γ au comptage du scintillateur plastique lorsqu'on compare les mesures de débits de fluence de neutrons produits par la source $D(d, n)^3He$, par comptage des 3He et par comptage de neutrons. Ce dispositif de discrimination (de forme) neutron-gamma a été conçu et réalisé par P. Bréonce au B.I.P.M., de même qu'un bloc de commande de lecture et d'impression pour l'ensemble des huit échelles de comptage et une partie des appareils électroniques qui accompagnent les instruments de transfert : un préamplificateur de gain 10 avec son alimentation, un ensemble constitué d'un amplificateur et d'un sélecteur-discriminateur avec son alimentation et un amplificateur à constantes de temps élevées (temps d'intégration = temps de différentiation $\approx 7 \mu s$).

Pour nous conformer aux décisions prises par la Section III du C.C.E.M.R.I., nous avons construit un nouveau porte-cible avec observation des particules 3He à 78° permettant de mesurer le débit de fluence de neutrons à 2,50 MeV, trois sphères de polyéthylène de 20,3 cm de diamètre, et les fourreaux de polyéthylène où sont logés le compteur à BF_3 et la source Am-Be de 100 mCi.

TABLEAU XVII

Résultats de la comparaison internationale de mesures de débit de fluence de neutrons rapides

Energie des neutrons	Instrument de transfert	Laboratoire	Détecteur "absolu"*	Sensibilité $\epsilon_{\Omega} = N_c / \phi_n^{**}$	$\epsilon_{\Omega}(\text{Lab}) / \epsilon_{\Omega}(\text{NRC})$		
250 keV	Sphère de polyéthylène + BF ₃	NRC CEN Cad. BCMn NPL	CP	5,71 x 10 ⁻⁶ ± 6,8 %	1		
			CD	4,82	3,0	0,844	
			CP1 et CP2	5,31	4,0	0,930	
			LC	≈ 4,64	4,0	0,813	
250 keV	Compteur à ³ He	NRC CEN Cad. NPL	CP	3,35 x 10 ⁻⁶ ± 5,8 %	1		
			CD	3,05	3,0	0,910	
			LC	≈ 2,88	4,0	0,860	
			565 keV	Sphère de polyéthylène + BF ₃	NRC CEN Cad. NPL	CP	5,96 x 10 ⁻⁶ ± 3,8 %
CD	6,22	3,0				1,044	
LC	≈ 5,90	4,0				0,990	
565 keV	Compteur à ³ He	NRC CEN Cad. NPL				CP	2,19 x 10 ⁻⁶ ± 5,0 %
			CD	2,20	3,0	1,005	
			LC	≈ 2,17	4,0	0,990	
			2,20 MeV	Sphère de polyéthylène + BF ₃	CEN Cad. BCMn NPL	CD	6,74 x 10 ⁻⁶ ± 3,0 %
T2	7,61	3,5					
LC	≈ 7,31	5,0					
2,50 MeV	Sphère de polyéthylène + BF ₃	BIPM NRC CEN Cad. BCMn NPL				PA	7,16 x 10 ⁻⁶ ± 3,5 %
			SS	7,23	4,4	1	
			CD	6,45	3,0	0,892	
			CP2	6,90	3,6	0,954	
				T2	7,15	3,4	0,989
				LC	≈ 7,13	5,0	0,986
14,80 MeV	Chambre à fission	CEN Cad. BCMn NPL	PA	non communiquée			
			T2	6,50 x 10 ⁻⁸ ± 3,8 %			
			FE	≈ 6,94			

* Les détecteurs ayant servi à mesurer les valeurs absolues des débits de fluence de neutrons sont identifiés comme suit : CP, compteur proportionnel à proton de recul ; CD, compteur directionnel ; CP1 et CP2, compteurs proportionnels N° 1 et N° 2 ; LC, long compteur ; T2, compteur-télescope N° 2 ; PA, particules associées ; SS, spectromètre de stilbène ; FE, réaction ⁵⁶Fe(n,p)⁵⁶Mn.

** N_c , comptage de l'instrument de transfert ; ϕ_n , nombre de neutrons émis par stéradian.

Publications

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

Depuis octobre 1973 ont été publiés :

1° *Comité Consultatif d'Électricité*, 13^e session (1972), avec 18 Annexes dont les rapports sur les 12^e comparaisons (1970) des étalons nationaux de résistance électrique et de force électromotrice et quatre rapports sur les comparaisons internationales dans le domaine des radiofréquences.

2° *Comité Consultatif pour les Étalons de Mesure des Rayonnements Ionisants* :

Section I, Rayons X et γ , électrons, 2^e réunion (1972);
Section II, Mesure des radionucléides, 2^e réunion (1972);
Section III, Mesures neutroniques, 1^{re} réunion (1972);
Section IV, Étalons d'énergie alpha, 1^{re} réunion (1972).

3° *Procès-Verbaux des séances du Comité International des Poids et Mesures*, tome 41 (62^e session, octobre 1973).

A l'occasion du centenaire de sa création, le B.I.P.M. a entrepris de publier un ouvrage retraçant son œuvre passée et présente; cet ouvrage est destiné à informer un public plus large que celui habituellement touché par les publications du B.I.P.M. Plusieurs laboratoires nationaux ont déjà exprimé leur intention d'en publier des traductions.

Publications extérieures

ALLISY (A.), Les unités SI dans les rayonnements ionisants. *Journal Belge de Radiologie*, **57**, 1, 1974, pp. 23-28.

BOUTILLON (M.) et NIATEL (M.-T.), A study of a graphite cavity chamber for absolute exposure measurements of ⁶⁰Co gamma rays. *Metrologia*, **9**, 1973, pp. 139-146.

WALLARD (A.J.), CHARTIER (J.-M.) et HAMON (J.), Wavelength measurements of the iodine stabilized helium-neon laser. *Metrologia*, **11**, 1975, pp. 89-95.

MÜLLER (J.W.), Some formulae for a dead-time-distorted Poisson process. *Nucl. Instr. Meth.*, **117**, 1974, pp. 401-404.

ROUX (A.-M.), A method of measuring the activity of a 1 Ci ⁶⁰Co source. *Metrologia*, **10**, 1974, pp. 99-102.

ROUX (A.-M.), Comparison of activity and power measurements of a 1 Ci ⁶⁰Co source. *Metrologia*, **10**, 1974, pp. 103-104.

RYTZ (A.), Catalogue of recommended alpha energy and intensity values. *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, **12**, 1973, pp. 479-498.

SAKUMA (A.), A permanent station for the absolute determination of gravity approaching one microgal accuracy. *Proc. Symposium on Earth's gravitational field and secular variations in position*, University of N.S.W., Sydney, 1973, pp. 674-684.

CERUTTI (G.), CANNIZZO (L.), SAKUMA (A.) and HOSTACHE (J.), A transportable apparatus for absolute gravity measurement. *VDI-Berichte*, Nr. 212, 1974, pp. 49-51.

TERRIEN (J.), Étalons de longueur d'onde, étalons optiques de fréquence et la vitesse de la lumière. *Nouv. Rev. Optique*, **4**, 1973, pp. 215-220.

TERRIEN (J.), International agreement on the value of the velocity of light. *Metrologia*, **10**, 1974, p. 9.

TERRIEN (J.), News from the B.I.P.M. *Metrologia*, **10**, 1974, pp. 75-77.

TERRIEN (J.), Accord international sur la valeur de la vitesse de la lumière. *Bulletin d'Information du B.N.M.*, **5**, N° 15, 1975, p. 5.

Rapports internes

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

— Rapport sur la 13^e comparaison des étalons nationaux de force électromotrice (janvier-avril 1973), par G. Leclerc ⁽¹⁰⁾.

— Rapport sur la 13^e comparaison des étalons nationaux de résistance électrique (janvier-avril 1973), par G. Leclerc ⁽¹⁰⁾.

— Statistiques de comptage, par J.W. Müller (Rapport BIPM-73/10, octobre 1973, 6 pages).

— Binomial modulo-sums, par J. W. Müller (Rapport BIPM-73/11, octobre 1973, 15 pages).

— Mémento des sous-programmes B.I.P.M., édition remise à jour et augmentée, par P. Carré et F. Lesueur (Rapport BIPM-73/12, octobre 1973, 29 pages).

— Application d'une balance Mettler du type ME 22 à l'étalonnage de radionucléides, par C. Colas, A. Rytz et C. Veyradier (Rapport BIPM-73/13, décembre 1973, 20 pages).

— On the smoothing of empirical spectra, par J.W. Müller (Rapport BIPM-74/1, février 1974, 37 pages) ⁽¹¹⁾.

— La station de mesure de la marée gravimétrique du B.I.P.M., installation et résultats préliminaires, rédigé par P. Carré d'après un exposé de A. Sakuma (Rapport BIPM-74/2, février 1974, 6 pages).

— A simple derivation of the Sheppard correction, par J.W. Müller (Rapport BIPM-74/3, avril 1974, 7 pages).

⁽¹⁰⁾ Ce rapport sera publié dans les comptes rendus de la 14^e session du Comité Consultatif d'Électricité (1975).

⁽¹¹⁾ Ce rapport est publié dans le *Recueil de Travaux du B.I.P.M.*, **4**, 1973-1974.

Certificats et Notes d'étude

Du 1^{er} octobre 1973 au 30 septembre 1974, 45 Certificats et 3 Notes d'étude ont été délivrés.

CERTIFICATS

1973

N°		
30.	Règle de 1 m N° 4795 en acier	Polski Komitet Normalizacji i Miar, Varsovie, Pologne.
31.	Quatre fils géodésiques de 24 m N° ^{OS} 664 à 667 ; un fil de 8 m N° 668	India Supply Mission, Londres, Grande-Bretagne.
32.	Quatre étalons de force électromotrice N° ^{OS} N.5615, J.8315, J.8744 et J.9010	Office National des Mesures, Budapest, Hongrie.
33.	Règle de 200 mm N° 16222	Avia-Export, Moscou, U.R.S.S.
34.	Cinq étalons secondaires d'intensité lumineuse (2859 K) N° ^{OS} PL 16 à PL 20	Polski Komitet Normalizacji i Miar, Varsovie, Pologne.
35.	Six étalons secondaires de flux lumineux (2357 K) N° ^{OS} CUJIM 13 à CUJIM 18 et trois étalons (2793 K) N° ^{OS} CUJIM 8 à CUJIM 10 (addition)	Id.
36.	Règle de 1 m N° 5372 en acier	Id.

1974

1.	Deux fils géodésiques de 24 m N° ^{OS} 518 et 519 ; un fil de 8 m N° 550 (addition) ...	Ecole Nationale Supérieure des Arts et Industries, Strasbourg, France.
2.	Kilogramme en Nicral D N° 33 (addition) ..	Institut Fédéral des Mesures et Métaux Précieux, Belgrade, Yougoslavie.
3.	Série de masses N° 92 de 500 g à 1 mg	Id.
4.	Mètre Prototype N° 27 (addition)	Indonésie.
5.	Mètre Prototype N° 8 (addition)	France.
6.	Règle de 1 m N° 774 en acier	Laboratoire National d'Essais, Paris, France.
7.	Etalon de 1 Ω N° FOA 3M-04906 (addition) .	Institut de Recherche de la Défense Nationale, Stockholm, Suède.
8.	Six étalons de force électromotrice N° ^{OS} 1489 à 1494 (addition)	Id.
9.	Cinq étalons secondaires d'intensité lumineuse (2045 K) N° ^{OS} 482 à 486	Institute of Standards, Téhéran, Iran.
10.	Cinq étalons secondaires d'intensité lumineuse (2859 K) N° ^{OS} 379, 442, 500, 507, 510	Id.
11.	Dix étalons secondaires de flux lumineux (2793 K) N° ^{OS} IR3, IR4, IR8, IR10, IR12, IR14, IR17, IR18, IR21, IR22	Id.

1974 (suite)

N°		
12.	Trois étalons de force électromotrice N ^{OS} 378257B, 378322, 378351 (addition)	Société Anonyme Belge de Construc- tions Aéronautiques, Bruxelles, Belgique.
13.	Deux étalons de 1 Ω N° 1617922 et 134900 MF 01 (addition)	Id.
14.	Etalon de 0,1 Ω N° 134899 MF 01 (addition)	Id.
15.	Deux fils géodésiques de 24 m N ^{OS} S513 et S514 (addition)	Société Française de Stéréotopo- graphie, Paris, France.
16.	Kilogramme Prototype N° 39 (addition)	Corée.
17.	Kilogramme Prototype N° 46 (addition)	Indonésie.
18.	Kilogramme Prototype N° 52 (addition)	République Fédérale d'Allemagne.
19.	Trois calibres en acier de 50,70, 100 mm .	Cary, Le Locle, Suisse.
20.	Quatre étalons de force électromotrice N ^{OS} 28314, 28315, 33350 et 33351	Institut Métrologique Tchécoslovaque, Bratislava, Tchécoslovaquie.
21.	Etalon secondaire d'intensité lumineuse (2357 K) N° 278A	National Physical Research Laboratory, Prétoria, Afrique du Sud.
22.	Trois étalons secondaires d'intensité lumineuse (2859 K) N ^{OS} 242I, 242D, 243E .	Id.
23.	Etalon secondaire de flux lumineux (2357 K) N° 20E	Id.
24.	Etalon secondaire de flux lumineux (2793 K) N° 173F	Id.
25.	Thermomètre à résistance de platine N° 1810397	Van Swinden Laboratorium, 's-Gravenhage, Pays-Bas.
26.	Trois étalons secondaires d'intensité lumineuse (2045 K) N ^{OS} 2491, 2498, 2515 (addition)	Office de Normalisation et des Mesures Prague, Tchécoslovaquie.
27.	Trois étalons secondaires d'intensité lumineuse (2357 K) N ^{OS} 2493, 2502, 2635 (addition)	Id.
28.	Trois étalons secondaires d'intensité lumineuse (2859 K) N ^{OS} 2339, 2381, 2383 (addition)	Id.
29.	Trois étalons secondaires de flux lumineux (2357 K) N ^{OS} 6 à 8 (addition)	Id.
30.	Trois étalons secondaires de flux lumineux (2793 K) N ^{OS} A1, A6, A8 (addition)	Id.
31.	Trois étalons secondaires de flux lumineux (2793 K) N ^{OS} B1 à B3 (addition)	Id.
32.	Six étalons secondaires de température de couleur N ^{OS} 1619, 2489, 2681, 2331, 2371, 2358 (addition)	Id.

1974 (suite)

N°		
33.	Dix calibres en acier de 5, 9, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 90 et 100 mm	Det Norske Justervesen, Oslo, Norvège.
34.	Cinq calibres en acier de 15, 25, 50, 75 et 100 mm (addition)	Bureau Fédéral des Poids et Mesures, Berne, Suisse.
35.	Etalon spécial en silice fondue	International Latitude Observatory, Japon.
36.	Etalon spécial en silice fondue	Id.
37.	Kilogramme Prototype N° 62	Istituto di Metrologia "G. Colonnetti", Turin, Italie.
38.	Dix calibres en acier de 1,0005, 2, 4, 5, 6, 8, 20, 40, 50, 100 mm	Service de Métrologie, Bruxelles, Belgique.

NOTES D'ÉTUDE

1973

3.	Règle de 1 m N° 4794 en acier	Polski Komitet Normalizacji i Miar, Varsovie, Pologne.
4.	Thermomètre Prolabo N° 317	Avia-Export, Moscou, U.R.S.S.

1974

1.	Thermomètres N ^{os} 304 et 305	Société Anonyme Belge de Constructions Aéronautiques, Bruxelles, Belgique.
----	---	--

IV. — ACTIVITÉS ET RELATIONS EXTÉRIEURES

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

Le B.I.P.M. continue à être fréquemment consulté, tant par correspondance que lors de visites, sur le SI et les questions d'unités, et sur ses activités, notamment par les pays qui sont actuellement engagés dans la réforme métrique. Une enquête a permis de préciser la situation actuelle de la « metrication » dans un certain nombre de pays, enquête dont les résultats feront l'objet d'un rapport à la 15^e Conférence Générale des Poids et Mesures.

Travaux en liaison avec des organismes internationaux et nationaux (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.

Le 1^{er} mars 1974, le directeur du B.I.P.M. a reçu des mains de L. de Broglie le prix Alfred Monnier qui lui a été décerné par l'Association Française de l'Éclairage pour son importante contribution dans le domaine de la photométrie.

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 :

— le 16 novembre 1973, visite de l'Institut de Métrologie G. Colonnetti à Turin++ et participation à la réunion de son Comité directeur;

— le 5 décembre 1973 et le 5 mars 1974, entretiens avec Mr J. de Boer à Amsterdam afin de préparer les travaux du bureau du C.I.P.M.;

— à l'ouverture d'un cycle de perfectionnement organisé à Bruxelles par la Société Royale Belge des Électriciens les 25 et 26 mars 1974, conférence inaugurale sur les étalons de base des mesures électriques;

— du 1^{er} au 4 avril 1974, participation à la réunion du Conseil d'Administration de la Commission Internationale de l'Éclairage à Londres, et à la préparation de son Assemblée générale qui aura lieu à Londres en 1975; visite du National Physical Laboratory et entretien avec son directeur et plusieurs autres personnalités de ce laboratoire;

— du 5 au 9 avril, il a assisté avec P. Giacomo à la Conférence du centenaire des Sociétés de Physique anglaise et française à Jersey;

— du 4 au 6 juin 1974, il s'est rendu à l'invitation de MM. Dunworth et Stille à la réunion du club de métrologie de l'Europe Occidentale à Braunschweig, et il a visité quelques laboratoires de la P.T.B.;

— du 1^{er} au 5 juillet 1974, il a participé avec P. Giacomo, G. Leclerc, T. Witt et J.-M. Chartier à la Conférence on Precision Electromagnetic Measurements à Londres, où il présentait un exposé sur le rôle du B.I.P.M. dans les mesures électriques. P. Giacomo a présenté une conférence sur « Vitesse de la lumière : où en est-on ? » et a participé à une table ronde sur le même sujet. A cette occasion le B.I.P.M. et le N.P.L. ont improvisé une réunion de travail sur « les lasers asservis sur l'absorption saturée de l'iode »; une quinzaine de spécialistes de six nationalités différentes y ont discuté de leurs problèmes et de leurs projets;

— du 3 au 5 septembre 1974, il a participé, et fait un exposé, à une réunion européenne sur la métrologie électrique à Bruxelles.

P. Giacomo s'est rendu au N.B.S. (Gaithersburg) du 28 octobre au 11 novembre 1973; il a assisté au « Symposium on Standard Reference Materials » puis à une réunion non formelle, organisée par l'Organisation Internationale de Métrologie Légale sur le même sujet. Il a visité plusieurs laboratoires du N.B.S. à Gaithersburg puis à Boulder.

Du 10 août au 6 septembre 1974, il a assisté à la « Conference on Optical Information Processing » à Sydney puis à la « Conference on Optical Methods

in Scientific and Industrial Measurements » à Tokyo. Il a mis ce voyage à profit pour visiter les laboratoires de Sydney et Tokyo avec lesquels nous entretenons des relations suivies. Il a également pris contact avec les services métrologiques coréens et présenté un exposé sur « New trends in metrology through progress in optics » au symposium on Applied Optics, à Séoul.

A. Allisy a fait les voyages suivants :

— à Madrid⁺⁺, du 6 au 13 octobre 1973, « Main Commission ICRU » ; au cours de cette réunion, il a été réélu vice-président de la Commission ;

— à Gatlinburg (États-Unis d'Amérique)⁺⁺, les 9 et 10 novembre 1973, réunion sur « Jesse effect and related phenomena » ; les 11 et 12 novembre 1973⁺⁺, « ICRU Committee on average energy required to produce an ion pair » ;

— à l'A.I.E.A., Vienne⁺⁺, les 12 et 13 décembre 1973, en qualité d'expert auprès de la Division des Sciences Biologiques, Section de Radiométrie ;

— à Bruxelles⁺⁺, le 9 février 1974, Assemblée générale de l'Association belge de Radioprotection ; il a donné une conférence sur les problèmes relatifs aux unités dans le domaine des rayonnements ionisants ;

— à Seattle (Washington), du 14 au 20 juillet 1974⁺, « 5th International Congress of Radiation Research » ; du 22 au 27 juillet 1974⁺⁺, « Main Commission ICRU ».

P. Carré a assisté le 14 décembre 1973, à Lyon, à la réunion annuelle du groupe de langue française de l'Association Common-Europe.

A. Rytz a fait les voyages suivants :

— les 10 et 11 décembre 1973 au B.C.M.N. (Euratom, Geel, Belgique) pour discuter les problèmes concernant les comparaisons futures de radio-nucléides ;

— les 8 et 9 avril 1974 à l'Université Technique de Munich (Allemagne). Des contacts précieux ont pu être établis avec un groupe de chercheurs qui effectue entre autres des mesures absolues d'énergie de particules alpha selon une méthode nouvelle.

A. Sakuma a effectué les déplacements suivants :

— du 24 novembre au 7 décembre 1973 à l'University of New South Wales, Sydney, pour participer au « Symposium on Earth's gravitational field and secular variations in position » de l'Association Internationale de Géodésie ; visites au N.R.L.M., Tokyo, à l'International Latitude Observatory, Mizusawa, et à l'Institut of Geophysics, University of Hawaii, Honolulu, pour discussions et conférences sur la gravimétrie ;

— du 15 au 16 janvier 1974 à Luxembourg pour assister aux « Journées Luxembourgeoises de Géophysique » où il a fait une conférence sur la marée gravimétrique au B.I.P.M. ; visite à l'Institut de Physique du Globe, Strasbourg (Prof. R. Lecolazet), pour établir une collaboration avec le B.I.P.M. sur l'observation de la marée gravimétrique ;

— le 3 juin 1974 à l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti, Turin, pour présenter le gravimètre absolu transportable à une trentaine de spécialistes des mesures de force ;

— du 20 au 31 août 1974, au Japon⁺⁺, pour conférences et entretiens techniques sur la gravimétrie, à Mizusawa, Tokyo et Kyoto.

Il a assisté du 2 au 6 septembre 1974 à la Commission Gravimétrique

Internationale (Paris); auparavant (mai 1974) il avait été nommé Président du Groupe d'étude 4.18 (Gravimétrie absolue) de l'A.I.G.

J. Bonhoure a apporté son concours à des sessions de perfectionnement organisées par le Laboratoire Central des Industries Électriques, à Fontenay-aux-Roses; il a fait des exposés sur la photométrie, le 20 novembre 1973 et le 19 février 1974.

Il a également participé, le 14 janvier 1974, à une réunion sur la « métrologie des températures rapidement variables » tenue à la Direction des Recherches et Moyens d'Essais, Paris.

J.W. Müller a séjourné du 13 mai au 17 juin 1974 en Amérique du Nord⁺. Les 16 et 17 mai, il a participé sur invitation à la réunion à Brookhaven du comité de l'I.C.R.U. chargé de la comparaison internationale de dosimétrie des neutrons, pour laquelle le B.I.P.M. a offert ses services pour l'analyse des résultats. Du 20 au 23 mai, il a visité le N.B.S. à Gaithersburg et y a donné le 21 mai une conférence sur « Some problems related with correlation counting ». Après son congé annuel à Berkeley, qui lui a permis d'établir de nouveaux contacts avec l'University of California et le Lawrence Berkeley Laboratory, il s'est rendu au Canada. A Chalk River (Atomic Energy of Canada Limited), qu'il a visité du 11 au 13 juin, il a donné le dernier jour un exposé sur le même sujet qu'au N.B.S. Le séjour au N.R.C. à Ottawa (du 14 au 17 juin) a terminé ce voyage qui a permis de discuter en détail avec des spécialistes un certain nombre de problèmes communs et de se familiariser avec quelques nouvelles idées qui sont actuellement à l'étude pour améliorer les méthodes d'étalonnage des radio-nucléides.

V.D. Huynh s'est rendu successivement aux laboratoires suivants, dans le cadre de la comparaison internationale des mesures de débits de fluence de neutrons rapides monocinétiques :

- du 3 au 7 décembre 1973, au N.R.C. (Canada),
- du 10 au 14 décembre 1973, au N.B.S. (États-Unis d'Amérique),
- du 18 février au 1^{er} mars et les 14 et 15 mars 1974 au C.E.N. Cadarache (France),
- du 22 avril au 3 mai 1974 au B.C.M.N. (Belgique),
- du 17 au 28 juin 1974 au N.P.L. (Grande-Bretagne).

G. Girard s'est rendu chez Oertling à Orpington, Grande-Bretagne, le 19 novembre 1973 pour s'entendre avec ce constructeur sur les modifications à apporter à la balance hydrostatique. Il a profité de ce voyage pour faire, le 20 novembre, une visite très rapide à la section des masses du N.P.L., Teddington.

Le 5 février 1974, il a fait un exposé devant les membres de la section d'Océanographie Physique du Comité National Français de Géodésie et de Géophysique sur le sujet suivant : Suite donnée à la Résolution 18 adoptée en août 1971 par l'Union Géodésique et Géophysique Internationale (Résolution relative à la masse volumique de l'eau).

Il s'est rendu à Lyon (France) du 23 au 26 septembre 1974 pour assister à la « 12th Conference on vacuum microbalance techniques — Pesée continue en atmosphère contrôlée ».

Il a préparé une communication sur le problème de la masse volumique

de l'eau, en collaboration avec Mr Menaché. Celui-ci l'a présentée à la 8^e Conférence Internationale sur les propriétés de l'eau et sa vapeur, qui s'est tenue à Hyères-Giens (France) du 23 au 27 septembre 1974. A cette Conférence a été présenté également le résultat de la détermination de la masse volumique de l'eau lourde $D_2^{18}O$ isotopiquement pure, effectuée en 1970, en collaboration avec le Centre d'Études Nucléaires de Saclay.

J.-M. Chartier a fait un stage au N.B.S. (Gaithersburg puis Boulder) du 10 janvier au 1^{er} mars 1974 pour se familiariser avec les techniques de fabrication de lasers asservis et de comparaison des fréquences optiques; il a en particulier effectué des mesures des intervalles (de l'ordre de 1 GHz) entre les composantes de l'iode 129 qui coïncident respectivement avec les radiations des lasers à néon 20 et à néon 22.

J. Hostache s'est rendu à plusieurs reprises à l'Istituto di Metrologia G. Colonnetti (Turin), pour participer aux essais et contribuer aux améliorations du gravimètre absolu transportable réalisé en collaboration avec le B.I.P.M.

R. Pello a fait un stage d'un mois environ à l'Institut National de Métrologie (Paris), en avril et mai 1974, pour se familiariser avec les techniques particulières de la cryogénie.

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

— par A. Nakamura, de l'E.T.L., Tokyo, le 19 octobre 1973 : Activités de la division de métrologie de l'Electrotechnical Laboratory;

— par T. Witt et D. Reymann, le 27 novembre 1973 : Effet Josephson, principe, applications en métrologie et mise en œuvre au B.I.P.M.;

— par A. Sakuma, le 29 janvier 1974 : La station de mesure de la marée gravimétrique du B.I.P.M., installation et résultats préliminaires;

— par G. Leclerc, le 19 mars 1974 : Résultats des 12^e comparaisons des étalons nationaux de résistance et de force électromotrice;

— par J.-M. Chartier, le 23 avril 1974 : Compte rendu du stage de deux mois effectué au N.B.S. et notamment des comparaisons de fréquences de lasers.

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

Plusieurs 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.

Mlle M.-T. Niatel et Mme M. Boutillon (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale, Paris) et Mlle 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 A. Poisson (Laboratoire d'Océanographie Physique de l'Université Paris VI) a fait un stage à la section des masses, de septembre à novembre 1973, pour se familiariser avec la technique des pesées hydrostatiques.

MM. Kim et Chung (Industrial Advancement Administration, Séoul),

en apportant le Kilogramme prototype N° 39, le 4 octobre 1973, se sont documentés sur le fonctionnement du B.I.P.M. et des divers Comités.

Mr A. Nakamura (E.T.L., Tokyo) a fait un stage du 15 au 23 octobre 1973 aux sections d'électricité et de gravimétrie.

Mlle du Préez (National Physical Research Laboratory, Pretoria) est venue le 17 octobre 1973 préparer une comparaison internationale d'étalons d'exposition dans le domaine des rayons X.

Mr Shida (E.T.L., Tokyo) a visité la section des masses le 23 octobre 1973 et le 10 avril 1974. Il s'est particulièrement intéressé à la balance NBS-2.

MM. G. Cerutti et L. Cannizzo (I.M.G.C., Turin) ont effectué plusieurs stages de longue durée depuis le 5 novembre 1973 à la section de gravimétrie pour la mise au point du gravimètre absolu transportable réalisé en collaboration avec le B.I.P.M.

Mme Spitzlei et deux autres personnes (Direction des Recherches et Moyens d'Essais, Paris) ont visité notre installation pour l'étude de la masse volumique de l'eau le 7 novembre 1973, de même que le Dr Culkin (National Institute of Oceanography, Grande-Bretagne), le 23 novembre 1973.

Mr A. Urcelay (Instituto Nacional de Energia Nuclear, Mexico) a visité, les 20 décembre 1973 et 3 janvier 1974, le laboratoire des mesures de radionucléides. Il a emporté un jeu de sources solides de ^{60}Co étalonnées au B.I.P.M.

Mr R. Felder (I.N.M., Paris) a commencé en janvier 1974 un stage à la section interférométrie. Il s'est familiarisé avec nos techniques de construction de lasers asservis et de comparaison de leurs fréquences.

Mr I. Szabo (C.E.N., Cadarache) est venu le 25 janvier 1974 pour visiter le laboratoire des mesures neutroniques et pour discuter avec nous de divers problèmes techniques concernant la préparation de la comparaison des mesures de débits de fluence de neutrons rapides.

MM. M. Tajima et T. Seto (Geographical Survey Institute, Tokyo) ont fait un stage du 26 au 29 janvier 1974 à la section de gravimétrie dans le cadre des liaisons gravimétriques qu'ils ont effectuées entre Sèvres, Postdam, Moscou et Tokyo au moyen de leurs trois gravimètres à ressort.

Mr P. J. Champion (N.P.L., Teddington) est venu au B.I.P.M. les 21 et 22 février 1974 pour discuter des problèmes concernant la Section II du C.C.E.M.R.I. qu'il préside.

Mr I.W. Goodier (N.P.L., Teddington) a visité la section des rayonnements ionisants, le 18 mars 1974. Il appartient au groupe de travail pour les comparaisons futures de radionucléides.

MM. T. Sakamoto, K. Hosoyama, M. Saito, J. Morimoto et Y. Nagayama (International Latitude Observatory, Mizusawa) ont fait un stage du 27 mai au 4 juillet 1974 à la section de gravimétrie pour poursuivre l'étude de l'installation d'une station gravimétrique au Japon.

Mr K.E. Duftschmid (Österreichische Studiengesellschaft für Atomenergie GmbH, Vienne) et Mr R. Lewich (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Vienne) sont venus respectivement le 31 mai et les 24 et 25 juin 1974, pour étudier les installations concernant la dosimétrie des rayons X et γ en vue de la création dans leur pays d'un laboratoire national de dosimétrie.

MM. W. Bambynek et D. Mouchel (B.C.M.N. Euratom, Geel, Belgique)

ont visité, le 11 juin, le laboratoire des mesures de radionucléides. On a fait un tour d'horizon des problèmes communs.

Mr J.M.R. Hutchinson (N.B.S., Washington) est venu au B.I.P.M. le 19 juin 1974 pour discuter, entre autres, des problèmes concernant les mesures de radioactivité par chambre d'ionisation à puits.

A l'occasion de leur visite du B.I.P.M., Mr A.M. Thompson (N.S.L., Chippendale), le 20 juin 1974, et MM. F.K. Harris, R. Cutkosky et N. Belecki (N.B.S.), le 8 juillet 1974, ont examiné avec G. Leclerc le moyen d'améliorer la précision des comparaisons internationales périodiques des étalons nationaux de résistance et de force électromotrice.

Mr Whetstone (N.B.S., Washington), a visité le 24 juin 1974 la section des masses (balance NBS-2 et problème de la masse volumique de l'eau) et s'est intéressé à nos études sur les lasers.

MM. V. Ruymbeke et T. Sato (Centre International de la Commission permanente des Marées terrestres, Bruxelles) ont effectué des stages périodiques à la section de gravimétrie, du 2 août au 5 septembre 1974. Ils avaient apporté deux gravimètres Lacoste-Romberg en vue de la comparaison des phases des marées mesurées en un même lieu (Sèvres point M1) par des gravimètres de deux types différents (méthode de zéro et méthode de déviation).

Une quarantaine de géophysiciens et gravimétristes accompagnés par le Professeur C. Morelli (Trieste) ont visité le B.I.P.M. le 5 septembre 1974.

Mr Bignell (N.M.L., Chippendale) s'est intéressé, les 9 et 10 septembre 1974, à la section des masses (balance NBS-2 et déterminations de masse volumique), à la mesure de g et aux mesures de pression.

Mme E. Milewska (Polski Komitet Normalizacji i Miar, Varsovie) et Mr Tan (L.N.E., Paris) sont venus le 19 septembre 1974 s'entretenir avec nous de la question de la pureté de l'eau.

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 1973.

Compte I. — Fonds ordinaires

RECETTES	
	francs-or
Actif au 1 ^{er} janvier 1973	2 673 129,92
Recettes budgétaires	3 148 695,29
Total	<u>5 821 825,21</u>

DÉPENSES	
	francs-or
Dépenses budgétaires	2 682 829,11
Différences de change	159 097,17
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1973	<u>2 979 898,93</u>
Total	<u>5 821 825,21</u>

DÉTAIL DES RECETTES BUDGÉTAIRES

Versements de contributions :		francs-or
au titre de l'exercice 1973	2 563 382,00	} 2 880 229,00
au titre des exercices antérieurs	316 847,00	
Intérêts des fonds		56 577,61
Taxes de vérification		9 951,39
Remboursements des taxes sur les achats		199 412,08
Recettes diverses		<u>2 525,21</u>
Total		<u>3 148 695,29</u>

DÉTAIL DES DÉPENSES BUDGÉTAIRES

Chapitres	Dépenses de l'exercice	Prévisions budgétaires	Économies	Dépassements
	francs-or	francs-or	francs-or	francs-or
<i>A. Dépenses de personnel :</i>				
1. Traitements	1 369 068,54	1 480 000	110 931,46	—
2. Allocations familiales	81 956,36	80 000	—	1 956,36
3. Sécurité sociale	87 383,91	92 000	4 616,09	—
4. Assurance-accidents	13 332,78	14 000	667,22	—
5. Caisse de Retraites	148 000,00	148 000	—	—
<i>B. Dépenses de fonctionnement :</i>				
1. Bâtiments (entretien)	94 403,33	200 000	105 596,67	—
2. Mobilier	3 721,30	5 000	1 278,70	—
3. Laboratoires et ateliers	332 848,95	380 000	47 151,05	—
4. Chauffage, eau, énergie électrique.	80 534,87	95 000	14 465,13	—
5. Assurances	3 839,14	4 000	160,86	—
6. Impressions et publications	41 801,25	45 000	3 198,75	—
7. Frais de bureau	39 929,40	48 000	8 070,60	—
8. Voyages	27 800,60	40 000	12 199,40	—
9. Bureau du Comité	13 000,00	13 000	—	—
<i>C. Dépenses d'investissement :</i>				
1. Laboratoires	244 006,51	460 000	215 993,49	—
2. Atelier de mécanique	30 593,21	30 000	—	593,21
3. Atelier d'électronique	8 422,04	28 000	19 577,96	—
4. Bibliothèque	17 503,67	32 000	14 496,33	—
D. Frais divers et imprévus	43 468,94	168 000	124 531,06	—
E. Utilisation de monnaies non convertibles	1 214,31	145 000	143 785,69	—
Totaux	2 682 829,11	3 507 000	826 720,46	2 549,57

Compte II. — Caisse de retraites

RECETTES

	francs-or
Actif au 1 ^{er} janvier 1973	444 635,53
Intérêts des fonds	10 669,23
Retenues sur les traitements	71 352,28
Virement du Compte I	148 000,00
Total	674 657,04

DÉPENSES

	francs-or
Pensions servies	126 923,49
Remboursement des cotisations d'un physicien démissionnaire	3 616,84
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1973	544 116,71
Total	674 657,04

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

RECETTES	francs-or
Actif au 1 ^{er} janvier 1973.....	21 763,59
Contribution d'entrée du Pakistan	17 702,00
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1973	<u>39 465,59</u>

Compte IV. — Caisse de prêts sociaux

Ce compte a été ouvert par décision du Comité International des Poids et Mesures à sa session d'octobre 1973 pour procurer l'aide sociale qui serait nécessaire au personnel.

RECETTES	francs-or
Virement budgétaire (35 000 FF)	19 288,85
Amortissements partiels des prêts (833,07 FF)	459,11
Total	<u>19 747,96</u>

DÉPENSES	francs-or
Prêts consentis (28 000 FF)	15 431,08
ACTIF AU 31 DÉCEMBRE 1973	4 316,88
Total	<u>19 747,96</u>

BILAN

AU 31 DÉCEMBRE 1973

	francs-or
Compte I « Fonds ordinaires »	2 979 898,93
Compte II « Caisse de Retraites »	544 116,71
Compte III « Fonds spécial pour l'amélioration du matériel scientifique »	39 465,59
Compte IV « Caisse de prêts sociaux »	4 316,88
	<hr/>
ACTIF NET	3 567 798,11
	<hr/> <hr/>

Cet actif se décompose comme suit :

a. Fonds déposés en banque :

	francs-or
1° En monnaie française	544 276,80
2° » U.S.A.	962 126,76
3° » suisse	1 997 562,47
4° » britannique	58 043,51
5° » hongroise	6 654,17
6° » polonaise	44 190,79
b. Espèces en caisse	21 591,61
	<hr/>
Total	3 634 446,11

A déduire.

Provision pour remboursements aux États	66 648,00
	<hr/>

ACTIF NET

3 567 798,11

10^e RAPPORT

DU

COMITÉ CONSULTATIF DE THERMOMÉTRIE

AU

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

par M. DURIEUX, Rapporteur

Le Comité Consultatif de Thermométrie (C.C.T.) s'est réuni pour sa 10^e session au Bureau International des Poids et Mesures, à Sèvres, où il a tenu cinq séances les 14, 15 et 16 mai 1974.

Etaient présents :

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

Les délégués des laboratoires membres :

Conseil National de Recherches [N.R.C.], Ottawa
(R.E. BEDFORD).

Conservatoire National des Arts et Métiers [C.N.A.M.],
Paris : Institut National de Métrologie (A. MOSER).
Istituto di Metrologia G. Colonnetti [I.M.G.C.], Turin,
(L. CROVINI).

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

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

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

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

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

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

Les membres nominativement désignés :

F.G. BRICKWEDDE (Pennsylvania).

J. SKAKALA (Bratislava).

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

Assistaient aussi à la session : P. GIACOMO, sous-
directeur du B.I.P.M., J. BONHOURE et G. GIRARD
(B.I.P.M.).

Excusé : J. de BOER (Amsterdam), membre nominativement
désigné.

Absents : Amt für Standardisierung, Messwesen und Waren-
prüfung [A.S.M.W.], Berlin ; Institut de Métrologie D.I.
Mendéléév [I.M.M.], Leningrad ; Institut des Mesures
Physicotechniques et Radiotechniques [I.M.P.R.], Moscou.
M. COLOMINA (Madrid), C.A. SWENSON (Ames, U.S.A.),
membres nominativement désignés.

Le Président accueille tous les participants et en parti-
culier Mr Mitsui, le nouveau représentant du N.R.L.M.
Mr Terrien leur souhaite la bienvenue au B.I.P.M.

Mr Durieux est désigné comme rapporteur, avec Mr Girard
comme secrétaire.

A la 9^e session (1971) du C.C.T., on avait constitué quatre
Groupes de travail pour étudier des points particuliers concer-
nant la tâche du C.C.T. Les Groupes de travail devaient présen-
ter au C.C.T. des rapports annuels. Ces rapports se sont révélés
extrêmement utiles et ont constitué la base de la plupart des
discussions de cette 10^e session du C.C.T.

* Maintenant National Measurement Laboratory [N.M.L.].

Avant d'aborder le point 1 de l'ordre du jour (discussion des rapports des quatre Groupe de travail), le Président fait remarquer que le sujet principal des discussions au cours de cette session sera vraisemblablement l'approbation d'une version amendée de l'Echelle Internationale Pratique de Température de 1968 (E.I.P.T.-68), proposée dans le dernier rapport du Groupe de travail 1. Si la version amendée de l'E.I.P.T.-68 doit être approuvée par le C.I.P.M. à sa session de septembre 1974 et ensuite par la Conférence Générale des Poids et Mesures à sa réunion de mai 1975, le temps dont on dispose est extrêmement réduit. En fait, à l'exception peut-être de quelques détails mineurs, il faut qu'à cette session le C.C.T. approuve entièrement l'E.I.P.T.-68 amendée.

1. DISCUSSION DES RAPPORTS DES GROUPES DE TRAVAIL 1 A 4

a) Rapport du Groupe de travail 2 (Points fixes secondaires ; techniques de mesure)

Mr Crovini remarque que le Groupe de travail 2 a préparé une liste des déterminations des points de référence secondaires. Cette liste n'est pas complète. On espère que cela pourra stimuler des redéterminations des points fixes les moins sûrs et que quiconque est en mesure d'y apporter une contribution le fera et communiquera ses résultats au Groupe de travail 2.

Mr Crovini cite quelques points particuliers de la liste. Une nouvelle valeur ($T_{68} = 234,309$ K) est attribuée au point de congélation du mercure ; la valeur qui figurait dans la version originale de l'E.I.P.T.-68 ($T_{68} = 234,288$ K) était inexacte. On propose une nouvelle valeur pour la température du point de l'eutectique cuivre-aluminium, qu'on doit expérimentalement déterminer en tant que point de fusion et non en tant que point de congélation ; la nouvelle valeur est $t_{68} = 548,26$ °C (l'ancienne valeur était $t_{68} = 548,23$ °C). On propose $t_{68} = 630,755$ °C comme température du point de congélation de l'antimoine (ancienne valeur $t_{68} = 630,74$ °C) ; cette nouvelle valeur est essentiellement fondée sur des expériences faites au N.R.C. et à l'I.M.G.C. avec des échantillons d'antimoine entièrement exempt d'oxygène et des thermomètres à résistance de platine de la meilleure qualité. La température du point de congélation du cuivre devient $t_{68} = 1\,084,88$ °C (au lieu de $t_{68} = 1\,084,5$ °C). Aux basses températures il y a de

nombreuses nouvelles déterminations de points de référence. Pour le point triple de l'argon, qui ne figurait pas dans la version originale de l'E.I.P.T.-68, le Groupe de travail 2 propose $T_{68} = 83,798 \text{ K}$; on a inclus ce point dans le nouveau projet comme substitut au point d'ébullition de l'oxygène. Pour le point de congélation du platine, dont on avait recommandé l'étude à la dernière session du C.C.T., le Groupe de travail 2 n'est pas en mesure de soumettre une proposition définitive tant que l'origine de la différence entre la récente valeur du N.S.L. ($t_{68} = 1\,769,7 \text{ °C} \pm 0,5 \text{ °C}$) et la précédente valeur du N.P.L. ($t_{68} = 1\,767,9 \text{ °C} \pm 0,3 \text{ °C}$) n'aura pas été déterminée.

Mr Crovini remarque aussi qu'il est très difficile d'évaluer les exactitudes des différentes déterminations sur des bases comparables et que le nombre des points fixes proposés comme points de référence secondaires paraît excessivement grand. Il demande si l'on doit allonger sans discrimination la liste des points de référence secondaires ou si on ne devrait pas plutôt éliminer certains points, par exemple en raison d'une moins bonne reproductibilité. A cet égard, il s'avère qu'on doit apporter une attention particulière à l'établissement des températures de référence secondaires dans le domaine compris entre -50 °C et 200 °C où la thermométrie est très souvent pratiquée au niveau secondaire.

En ce qui concerne la seconde partie de la tâche du Groupe de travail 2, c'est-à-dire la recherche de techniques pratiques simplifiées de mesure des températures, Mr Crovini mentionne trois points :

On a donné une forme simplifiée de la fonction de référence $W_{\text{CCT-68}}$ pour les thermomètres à résistance de platine ; cette forme simplifiée est déjà introduite dans le nouveau projet d'E.I.P.T.-68 proposé.

On est généralement d'accord pour penser que le thermocouple Pt-10 % Rh/Pt, que l'on utilise entre $630,74 \text{ °C}$ et $1\,064,43 \text{ °C}$, est sérieusement limité en exactitude (au mieux $\pm 0,2 \text{ °C}$) ; en conséquence, il faudrait étendre l'échelle de rayonnement vers le bas et l'échelle du thermomètre à résistance de platine vers le haut pour qu'elles se rejoignent en un point situé dans le domaine compris entre 800 °C et $1\,064 \text{ °C}$. Les thermomètres à résistance de platine dont on dispose couramment ne donnent pas entière satisfaction lorsqu'on les utilise aux températures élevées. Un nouveau type de thermomètre à résistance de platine fabriqué au Japon semble être

le meilleur, mais on n'a pas encore démontré que son fonctionnement jusqu'au point de l'or est digne de confiance. Mr Crovini demande aux laboratoires nationaux de coordonner les activités expérimentales de façon à obtenir une estimation complète des possibilités d'une échelle du thermomètre à résistance de platine jusqu'à, disons, 960 °C. Pour ce faire, il suggère que l'on définisse une échelle provisoire du thermomètre à résistance de platine aux températures élevées.

Enfin, le Groupe de travail 2 a proposé une réalisation secondaire de l'E.I.P.T.-68 entre 1 064 °C et 1 600 °C environ au moyen de thermocouples en alliage Pt-Rh ; une telle échelle serait bien entendu moins précise que l'échelle du pyromètre optique mais plus facile et moins onéreuse à réaliser.

Le Président remercie Mr Crovini pour ses commentaires sur le rapport du Groupe de travail 2.

Mr Kemp et Mr Quinn commentent la différence entre les températures obtenues au N.S.L. et au N.P.L. pour le point de congélation du platine. Mr Kemp pense que l'on pourra élucider dans quelques semaines la question de la présence éventuelle d'impuretés dans l'échantillon de platine utilisé au N.S.L. Mr Quinn est d'accord avec Jones, qui a effectué les mesures au N.S.L., pour considérer comme peu probable que des impuretés dans les échantillons de platine du N.S.L. puissent expliquer la différence, car si le platine avait été impur au point d'élever le point de congélation de 1,8 °C, les paliers de fusion et de congélation n'auraient pas été horizontaux. Mr Quinn suggère que la difficulté se situe dans la comparaison des luminances énergétiques du four et de la lampe étalon ; à cet égard, il rappelle des problèmes antérieurs demeurés non résolus auxquels le N.S.L. a été confronté en faisant des mesures sur la lampe étalon du type à ruban que le N.P.L. avait conçue et qui avait servi dans les comparaisons internationales des échelles du pyromètre optique. On convient que le N.P.L. et le N.S.L. continueront de discuter la question et présenteront ultérieurement une valeur définitive au Groupe de travail 1.

On envisage d'autres déterminations du point de congélation du platine à la P.T.B. et à l'I.M.G.C., mais on n'a aucun résultat pour le moment. Mr Crovini ne pense pas en avoir avant la fin de 1974.

Une discussion assez approfondie s'engage sur deux aspects de la proposition du Groupe de travail 2 d'établir une échelle secondaire du thermocouple pour le domaine compris entre 1 064 °C et 1 600 °C. Comment doit-on définir une telle échelle et devrait-elle être approuvée par le C.I.P.M. ?

Pour Mr Quinn, un point de départ raisonnable serait fourni par les nouvelles tables de référence pour les thermocouples Pt-10 % Rh/Pt et Pt-13 % Rh/Pt mises au point par le N.B.S., le N.P.L. et le N.R.C. il y a quelques années. Il préfère les thermocouples à 13 % de rhodium parce que ceux-ci paraissent plus stables.

Mr Crovini n'est pas certain que les différents types de fil reproduiront suffisamment bien les tables de référence sans étalonnage. Il rappelle que l'on a utilisé les tables dans deux normes nationales pour les thermocouples (ASTM E230 aux Etats-Unis et BS 4937 au Royaume-Uni), mais il se demande si ces normes sont assez bonnes pour l'échelle secondaire proposée. Il pense que l'étalonnage à un ou deux points de référence sera nécessaire. Mr Quinn et Mr Bedford sont d'accord sur ce point. Mr Bedford n'est pas certain que le couple Pt-13 % Rh/Pt soit idéal pour le domaine des températures élevées, mais il est d'accord avec Mr Quinn pour penser que l'utilisation d'un type différent de thermocouple entraînerait un travail considérable pour établir de nouvelles tables de référence.

Quant à savoir ce qu'on devrait faire en cette matière, Mr Quinn et Mr Hudson demandent si le C.C.T. ne devrait pas simplement approuver les tables de thermocouples existantes, déjà acceptées par l'ASTM et la B.S.I. ; on espère que la C.E.I. les approuvera également bientôt.

En réponse à une question de Mr Hudson, le Président signale que le C.I.P.M. a discuté la question générale des niveaux secondaires de mesure ; alors que dans le passé le B.I.P.M. ne s'occupait que des plus hauts niveaux d'exactitude, on a suggéré qu'il serait opportun maintenant de modifier cet état de choses. Les besoins métrologiques d'un certain nombre de pays membres de la Convention du Mètre se situent en grande partie au niveau secondaire de mesure et une partie des ressources du B.I.P.M. devrait être consacrée à mettre davantage l'accent sur ce niveau, secondaire mais extrêmement utile. Par

conséquent, si le C.C.T. choisissait de s'occuper de telles échelles secondaires, il serait dans la ligne de pensée du C.I.P.M. ou du B.I.P.M. dans son ensemble.

A la suite du souhait exprimé par Mr Crovini d'établir des points de référence secondaires dans le domaine de $- 50$ °C à 200 °C, Mr Kemp suggère que l'attention soit portée en particulier sur le domaine compris entre 0 °C et 100 °C. Mr Plumb suggère que le Groupe de travail 2 s'intéresse aux thermocouples du type tungstène-rhénium en vue de leur emploi dans les réacteurs nucléaires. Il remarque aussi qu'il semble exister au N.B.S. un besoin urgent d'un point de référence particulier pour les thermomètres médicaux.

La suite de la discussion du rapport du Groupe de travail 2 est reportée au point 4.

Avant d'aborder les rapports des Groupes de travail 3 et 4, le Président souligne que la tâche de ces Groupes (détermination des températures thermodynamiques) ne consiste pas simplement à rassembler les données disponibles mais également à estimer la fiabilité et l'exactitude dans les différentes expériences. Ils doivent voir si l'exactitude supposée au moment de la publication des résultats est correcte ; il peut fréquemment arriver, en effet, que l'on doive réexaminer la fiabilité d'anciennes déterminations de la température thermodynamique à la lumière de travaux ultérieurs ; ces derniers peuvent révéler l'existence d'erreurs systématiques dont les premiers chercheurs ne pouvaient avoir connaissance ou n'avaient pas suffisamment tenu compte. Ces révisions de l'exactitude conduisent quelquefois à de grosses difficultés lorsqu'elles ne confirment pas les propres estimations des auteurs, mais les Groupes de travail doivent cependant faire de leur mieux pour parvenir à une conclusion sur la fiabilité des diverses déterminations des températures thermodynamiques.

b) Rapport du Groupe de travail 3 ($T > 100$ K)

Mr Quinn indique d'abord que plusieurs résultats de pyrométrie par rayonnement déjà publiés ont dû être revus à la lumière d'une note de Blevin (N.S.L.) : c'est la longueur d'onde dans le vide que l'on doit utiliser (dans l'équation 15 de la version originale de l'E.I.P.T.-68) et non la longueur d'onde dans le milieu dans lequel on effectue les mesures.

L'application de la correction correspondante fait passer la température du point de congélation de l'or mesurée par Hall de $1\ 063,7\ ^\circ\text{C}$ à $1\ 064,0\ ^\circ\text{C}$, celle de Heusinkveld de $1\ 064,55\ ^\circ\text{C}$ à $1\ 064,72\ ^\circ\text{C}$ et celle de Bonhoure de $1\ 064,18\ ^\circ\text{C}$ à $1\ 064,38\ ^\circ\text{C}$. D'après ces expériences il n'y a aucune preuve que la valeur attribuée au point de l'or dans l'E.I.P.T.-68 soit fautive. Toutefois, les mesures par pyrométrie optique faites au N.P.L. et au B.I.P.M. ont montré qu'entre $630\ ^\circ\text{C}$ et $1\ 064\ ^\circ\text{C}$ l'E.I.P.T.-68 diffère considérablement des températures thermodynamiques, les différences atteignant un maximum de $0,7\ ^\circ\text{C}$ au voisinage de $800\ ^\circ\text{C}$.

Mr Quinn fait alors remarquer que le Groupe de travail 3 a rencontré de sérieuses difficultés pour essayer de faire une proposition unanime sur la question suivante : fallait-il, et sous quelle forme, donner dans l'édition amendée des renseignements mieux à jour sur l'incertitude estimée de l'E.I.P.T.-68 aux points fixes de définition au-dessus de $0\ ^\circ\text{C}$ et entre ces points fixes ? Quant à l'incertitude estimée aux points fixes, la question a porté essentiellement sur le tableau VII du texte original de l'E.I.P.T.-68. Ce tableau donne les "Incertitudes estimées sur les valeurs assignées aux points fixes de définition par rapport à leur température thermodynamique". Les valeurs que l'on croyait correctes en 1968, varient de $5\ \text{mK}$ pour le point d'ébullition de l'eau à $0,2\ \text{K}$ pour le point de congélation de l'or.

La principale preuve qu'il y a quelque chose d'erroné dans ces incertitudes estimées provient des travaux de Guildner au N.B.S. sur le thermomètre à gaz : il a trouvé $99,970\ ^\circ\text{C} \pm 0,003\ 5\ ^\circ\text{C}$ pour la température thermodynamique du point d'ébullition de l'eau (Document CCT/74-6). La différence avec la valeur attribuée à ce point fixe dans l'E.I.P.T.-68 est six fois plus grande que l'incertitude estimée donnée au tableau VII.

Mr Hudson donne ensuite les valeurs provisoires de Guildner : $231,92\ ^\circ\text{C} \pm 0,015\ ^\circ\text{C}$ et $419,49\ ^\circ\text{C} \pm 0,03\ ^\circ\text{C}$ pour les températures thermodynamiques respectives des points de l'étain et du zinc. Guildner lui-même préfère ne pas encore donner de valeur, car les résultats donnés changeront vraisemblablement très légèrement lorsqu'il aura une meilleure connaissance des corrections dues aux coefficients du viriel du gaz et à la dilatation du réservoir (les valeurs données ci-dessus correspondent à une

différence $t_{68} - t$ de 0,048 °C et 0,09 °C respectivement pour les points de l'étain et du zinc).

Mr Quinn rappelle que la pyrométrie par rayonnement a montré qu'entre le point de l'antimoine et celui de l'argent les températures données par l'E.I.P.T.-68 diffèrent des températures thermodynamiques de quantités atteignant jusqu'à 0,7 °C. Bien que le Groupe de travail 3 ne soit pas parvenu à un accord unanime, plusieurs possibilités ont été discutées. L'une consistait à laisser le tableau VII (de l'E.I.P.T.-68) tel qu'il est mais en y ajoutant une note. La seconde consistait à supprimer purement et simplement le tableau VII. La troisième, proposée par Guildner, consistait à ajouter dans le tableau VII les nouvelles valeurs estimées des températures thermodynamiques des points fixes et leurs incertitudes, en laissant bien entendu les valeurs attribuées inchangées et en supprimant les estimations d'incertitude de 1968.

Une discussion approfondie s'engage. Mr Thomas exprime l'opinion de la P.T.B. et préconise fermement de ne pas modifier les incertitudes qui sont données au tableau VII pour les points de l'étain, du zinc, de l'argent et de l'or, car il n'existe pas de preuve suffisante pour le faire. Il pense que le Groupe de travail 3 n'a pas eu suffisamment la possibilité de discuter les valeurs provisoires données par Guildner pour les points de l'étain et du zinc et que, pour les points fixes supérieurs, il n'y a pas de preuve réelle que les incertitudes attribuées en 1968 soient fausses. Le Président, Mr Hudson et Mr Quinn ont en fait l'impression que les expériences extrêmement soigneuses de Guildner entre 0 °C et 140 °C ainsi qu'aux points de l'étain et du zinc, ont montré que des erreurs systématiques sérieuses existaient dans la thermométrie à gaz ancienne. En conséquence, les valeurs données en 1968 pour les points fixes de définition aux températures élevées risquent d'être moins exactes qu'on ne le pensait à l'époque, car ces valeurs étaient aussi essentiellement fondées sur les déterminations au thermomètre à gaz.

Après cette discussion, le Président propose que l'on nomme un sous-groupe chargé de présenter une proposition définitive au cours de la session, mais il suggère de reporter cela après que les rapports des Groupes de travail 4 et 1 aient été aussi discutés. Il remercie Mr Quinn et les autres membres du Groupe de travail 3 pour les efforts qu'ils ont consacrés à traiter ce difficile problème.

c) Rapport du Groupe de travail 4 ($T < 100$ K)

Mr Durieux rappelle que les rapports du Groupe de travail 4 sont limités au domaine compris entre 1 K et 30 K. Dans ce domaine, les échelles "officielles" sont : l'E.I.P.T.-68 au-dessus de 13,81 K, l'Echelle ^4He 1958 au-dessous de 5,2 K et l'Echelle ^3He 1962 au-dessous de 3,3 K. Les récentes déterminations de la température thermodynamique comprennent des mesures faites au thermomètre acoustique au N.B.S. et au N.P.L., ainsi que des déterminations des isothermes pV et des mesures au thermomètre à gaz faites au N.P.L. et au Los Alamos Scientific Laboratory. Des échelles magnétiques de température ont été mises au point à l'I.M.P.R., à l'I.S.U. et au K.O.L. Il y a également un travail intéressant au N.B.S. sur les points fixes des supraconducteurs, parmi lesquels les points de transition du plomb (7,2 K), de l'indium (3,4 K) et de l'aluminium (1,2 K) se situent dans le domaine de 1 K à 30 K. La situation en était là lorsqu'a commencé la comparaison internationale de thermomètres à germanium, que l'on avait proposée à la session du C.C.T. de 1971. Pour l'instant, ces comparaisons ont été faites au N.S.L. avec des thermomètres étalonnés provenant de l'I.S.U., du N.S.L. et du K.O.L. ; le N.S.L. vient de recevoir des thermomètres de l'I.M.P.R., étalonnés dans l'échelle magnétique de l'I.M.P.R. Grâce aux mesures extrêmement soigneuses et précises faites au N.S.L., on connaît les différences entre toutes les échelles et déterminations de température mentionnées ci-dessus dans le domaine où elles se chevauchent. Comme le N.S.L. et le K.O.L. ont réalisé les points de transition du plomb, de l'indium et de l'aluminium et rapporté aux thermomètres à germanium ces températures de transition, on connaît maintenant ces points de référence dans les échelles correspondantes et la reproductibilité de leur réalisation entre le N.S.L. et le K.O.L.

On n'a trouvé entre ces différentes échelles aucun désaccord grave. Il est apparu que l'échelle magnétique est très appropriée à des interpolations sur des intervalles de température assez larges. Par exemple, si l'on normalise les échelles magnétiques de l'I.S.U. et du K.O.L. aux mêmes températures de référence, soit 2,2 K, 4,2 K, 20 K et 27 K, l'accord entre les deux échelles magnétiques dans le domaine compris entre 2,2 K et 27 K est meilleur que $\pm 0,5$ mK. Le N.S.L. est disposé à poursuivre les mesures de comparaison, ainsi qu'à étalonner des thermomètres à germanium pour d'autres laboratoires natio-

naux dans le domaine de 1 K à 30 K.

Les plans et les propositions du Groupe de travail 4 pour l'avenir sont :

- 1) Publier le résultat des comparaisons d'échelles dans *Metrologia*, ainsi que l'avait décidé le C.C.T. en 1971. Toutefois, sur la suggestion de Mr Kemp, le Groupe de travail 4 propose aussi que l'on donne dans cet article la "meilleure estimation CCT/74 d'une échelle lissée dans le domaine 1 K - 30 K". On peut déduire cette échelle et ses rapports avec les autres échelles pour les basses températures à partir des résultats actuels des comparaisons faites au N.S.L. Il est proposé que l'article dans lequel on donnerait les résultats des comparaisons d'échelles et la nouvelle échelle lissée, soit envoyé à tous les membres du C.C.T. avant publication, afin que cette échelle lissée ait l'approbation du C.C.T.
- 2) Le Groupe de travail 4 a suggéré dans son second rapport que l'on adopte de nouvelles échelles de l'hélium liquide lors de la 11^e session du C.C.T. (que l'on pensait devoir se tenir en 1978) et qu'on les propose au C.I.P.M. en 1979. On admet généralement qu'une révision des échelles actuelles de l'hélium est nécessaire parce que l'on sait qu'elles s'écartent des températures thermodynamiques, dans des proportions qui peuvent atteindre jusqu'à 0,2 % de la température. Toutefois Mr Quinn, le Président et d'autres membres ont souligné une difficulté pratique : les échelles actuelles de l'hélium sont citées à l'Annexe II de l'E.I.P.T.-68 comme les échelles recommandées et il ne sera pas possible de réviser le texte de l'E.I.P.T.-68 une seconde fois en 1979. Par ailleurs, le Groupe de travail 4 a le sentiment qu'il serait très désavantageux de repousser le remplacement des échelles de l'hélium jusqu'à l'époque prévue pour le remplacement de l'E.I.P.T.-68, c'est-à-dire jusqu'à 1983. Malheureusement, il n'y a encore aucune proposition détaillée pour changer les échelles de l'hélium (et l'Annexe II de l'E.I.P.T.-68). Pour résoudre cette difficulté le Groupe de travail 4 propose de supprimer la référence aux échelles de l'hélium dans le texte de l'E.I.P.T.-68, c'est-à-dire de supprimer l'Annexe II. Les échelles de l'hélium actuelles demeurent bien entendu les échelles recommandées par le C.I.P.M. De plus, le Groupe de travail 4 propose que lors de la 11^e session du C.C.T. en 1976 (voir point 5), on présente de nouvelles échelles de l'hélium qui pourront, après approbation par le C.C.T., être soumises à l'approbation du C.I.P.M. en 1976.

3) Le N.S.L. est disposé à poursuivre la comparaison internationale des échelles pour les basses températures et l'étalonnage des thermomètres pour les laboratoires nationaux qui n'ont pas leur propre échelle. Mr Quinn soumettra des thermomètres à résistance de RhFe.

4) Etendre les comparaisons faites au N.S.L. jusqu'à 0,5 K.

L'accord se fait sur les propositions du Groupe de travail 4 de supprimer la référence aux échelles de l'hélium liquide dans le texte de l'E.I.P.T.-68 et de publier une échelle lissée pour les basses températures sous les auspices du C.C.T. Toutefois, Mr Brickwedde et Mr Plumb craignent que le désordre ne s'instaure, en particulier dans le domaine compris entre 13,81 K et 30 K où il y aura deux échelles recommandées. Mr Kemp souligne qu'il y a déjà beaucoup de désordre car, pour le domaine compris entre 2 K et 20 K, plusieurs échelles de température sont utilisées ; il est également extrêmement difficile de raccorder l'échelle ^4He 1958 à une échelle raisonnable au-dessus de 4,2 K. Une échelle lissée entre 1 K et 30 K serait vraiment importante pour les physiciens qui travaillent aux basses températures.

On est d'accord pour demander que la relation de la nouvelle échelle lissée avec les autres échelles soit clairement expliquée dans l'article de *Metrologia*. Mr Brickwedde suggère que l'échelle lissée descende jusqu'à 0,9 K ou même 0,5 K.

d) Rapport du Groupe de travail 1 (Révision de l'E.I.P.T.-68 ; discussion préliminaire)

La version la plus récente de l'édition amendée de l'E.I.P.T.-68 présentée dans le rapport (1^{er} avril) du Groupe de travail 1 a été mise au point à partir de versions antérieures, sur lesquelles on a reçu des commentaires de plusieurs laboratoires. La plupart des laboratoires représentés au C.C.T. ont envoyé leurs commentaires et le Président les remercie de leurs efforts considérables. Il explique que la dernière version est un compromis élaboré par Mr Bedford et lui-même entre les différentes opinions émises.

Depuis que cette dernière version a été diffusée, le Président en a discuté avec des collègues du N.P.L., du N.B.S., du N.S.L. et du K.O.L. ; il en est résulté quelques changements mineurs. Il y a des changements importants : la suppression de

la référence aux échelles de l'hélium liquide (Annexe II), le paragraphe (dans l'Annexe I) proposé par Mr Dean pour expliquer pourquoi l'on a omis ces échelles, la suggestion de Mr Crovini que certains points de congélation de référence secondaires devraient être redéfinis comme des points de fusion et finalement, changement le plus controversé, la modification ou la suppression du tableau VII. Un certain nombre de petites corrections ou modifications qui ont été suggérées constituent à l'évidence des améliorations et seront incluses dans l'échelle.

Le Président demande s'il y a d'autres commentaires.

Une discussion s'instaure sur la nomenclature et les unités. Mr Brickwedde fait la suggestion intéressante de réserver le terme "point fixe" aux états d'équilibre qui sont fixes par nature, comme les points triples, et de ne pas l'utiliser pour caractériser des points comme par exemple le point de l'hydrogène à 17 K. Mr Thomas attire l'attention du C.C.T. sur les sérieuses objections de la P.T.B. contre l'utilisation des grandeurs T_{68} et t_{68} dans la version originale et la version amendée proposée de l'E.I.P.T.-68. La P.T.B. préférerait qu'on utilise le concept suivant : il n'y a qu'une seule température que l'on peut exprimer dans l'échelle 1968 ou dans toute autre échelle (pour une autre question sur les unités et les grandeurs voir le Document CCT/74-28, point 1).

Mr Terrien attire l'attention sur le fait que la partie "Renseignements complémentaires" est considérablement raccourcie dans le texte amendé de l'échelle et demande s'il subsiste suffisamment de renseignements pour que l'utilisateur puisse réaliser l'échelle. Il signale que dans le domaine de la radioactivité par exemple, on a tendance à décrire avec plus de détails les méthodes expérimentales afin d'aider les laboratoires qui ont une moins grande expérience, comme ceux des pays en voie de développement. Le Président répond que les "Renseignements complémentaires", dans le texte original, étaient incorrects ou inexacts dans un certain nombre de cas. On a essayé de supprimer, dans l'édition amendée de l'échelle, tout ce qui était inexact, et parfois sans importance, pour ne conserver que les renseignements vraiment importants.

Mr Plumb signale que le N.B.S. a publié un document sur les thermomètres à résistance de platine qui pourrait aider les

laboratoires, qui n'ont pas encore l'expérience nécessaire, à réaliser l'échelle (voir la discussion sur ce point plus loin, au point 11).

Mr Crovini remarque une incompatibilité entre la déclaration mentionnée dans les "Renseignements complémentaires" au paragraphe Thermocouple étalon, selon laquelle le thermocouple ne sera pas précis à mieux que $\pm 0,3$ °C, et la condition, exprimée dans le texte de l'échelle, que la différence entre les forces électromotrices au point de l'or et au point de l'argent prenne à ± 3 μ V près une valeur calculée (équation (14) de la version amendée). Du fait que la force électromotrice d'un thermocouple change avec la profondeur d'immersion (effet dit de McLaren) et par suite d'instabilités dans le thermocouple, on peut facilement faire des erreurs de $\pm 1,5$ μ V au point de l'or et au point de l'argent, de telle sorte que l'incertitude expérimentale dans la différence entre les forces électromotrices au point de l'or et au point de l'argent dépasse 3 μ V.

Ces remarques conduisent à une longue discussion sur ce qui avait été écrit dans l'E.I.P.T.-68 sur le thermocouple Pt-Rh/Pt, c'est-à-dire les équations 13 à 15 (numérotation de l'édition amendée) et dans le paragraphe 2 des "Renseignements complémentaires". Lorsque le Groupe de travail 1 avait corrigé le texte de l'échelle, il avait trouvé que c'était une des parties les moins satisfaisantes parce que les informations provenaient d'une seule source. Après discussions au cours des derniers jours avec des personnes compétentes, on propose maintenant de modifier le chiffre pour l'exactitude du thermocouple dans le paragraphe 2, de $\pm 0,3$ °C à $\pm 0,2$ °C, mais le Président souligne que tous autres renseignements seraient les bienvenus.

MM. Bedford, Crovini, Dean, Plumb, Quinn et le Président prennent part à une discussion sur la question de savoir s'il faut modifier ou même supprimer du texte les équations 13 à 15. Mr Quinn note qu'il n'y a aucune preuve qu'on ne puisse pas utiliser, pour réaliser l'échelle, les thermocouples qui ne suivent pas les équations 13 à 15.

Le thermocouple Pt-13 % Rh/Pt par exemple, donne à 0,1 °C ou 0,2 °C près la même échelle que le thermocouple Pt-10 % Rh/Pt et pourtant il ne satisfait pas du tout à ces équations. Les

fabricants utilisent seulement l'équation 13 qui spécifie la force électromotrice du thermocouple Pt-Rh/Pt au point de l'or ; ils peuvent même fabriquer le fil de telle sorte que la force électromotrice au point de l'or soit à $\pm 10 \mu\text{V}$ près égale à la valeur normale. Le Président dit que, bien que la teneur en rhodium ne soit à l'évidence pas importante pour réaliser l'échelle, le pourcentage des impuretés dans le fil est probablement important et à cet égard les équations 13 à 15 peuvent être utiles car elles éliminent l'emploi de fil en alliage impur. Mr Quinn admet que les équations 13 à 15 sont trop restrictives en ce qui concerne la teneur en rhodium mais qu'elles écartent la possibilité d'avoir des fils en alliage impur. A ce stade, il y a une tendance parmi les divers interlocuteurs pour suggérer que l'on supprime les équations 14 et 15.

Mr Quinn signale quelques réserves faites par le N.P.L. sur la méthode compliquée de recuit des thermocouples qui est donnée dans la version amendée proposée, non parce que la méthode est mauvaise mais parce qu'il n'est pas certain que des efforts supplémentaires soient justifiés par une amélioration dans le comportement du thermocouple, étant donné qu'il existe une incertitude totale de $\pm 0,2 \text{ K}$.

Le Président propose que l'on forme un petit sous-comité pour s'occuper de la partie de l'E.I.P.T.-68 qui concerne les thermocouples (équations 13 à 15 et paragraphe 2 des "Renseignements complémentaires") pour en discuter avec les personnes intéressées et pour préparer une recommandation (voir point 4). Il propose que MM. Quinn et Plumb constituent ce sous-comité, ce qui est accepté.

Mr Hudson rapporte ensuite une suggestion faite par plusieurs personnes du N.B.S. ; à la fin de l'Annexe I de l'E.I.P.T.-68 on devrait indiquer qu'au fur et à mesure des nouvelles déterminations de température thermodynamique le C.C.T. publiera dans ses rapports une évaluation des résultats.

Mr Dean rappelle au C.C.T. sa suggestion antérieure : on devrait expliquer dans l'Annexe I les raisons de la suppression de l'Annexe II ; Mr Thomas suggère en outre que l'on ajoute à l'historique de l'E.I.P.T., dans l'Annexe I, quelques phrases sur l'édition amendée proposée de l'échelle.

Le Président propose que Mr Dean prépare ces additions à l'Annexe I et les présente ultérieurement au C.C.T.

Le Président revient maintenant sur la question des incertitudes des températures thermodynamiques au-dessus de 0 °C (Tableau VII de l'E.I.P.T.-68). Mr Hudson rappelle les valeurs obtenues très récemment par Guildner au thermomètre à gaz pour les points de congélation de l'étain et du zinc (*voir point 1b*). Quelques remarques générales sont faites sur le sujet. L'opinion de la majorité est que le Tableau VII ne peut plus rester sous sa forme actuelle car, pour certains points fixes, les incertitudes données sont incorrectes.

Mr Hudson, approuvé par Mr Terrien, souligne que le C.C.T. a le devoir d'exposer les faits, de les présenter au public et lorsqu'il y a des désaccords, de suggérer, si possible, quels sont les résultats les plus dignes de foi. Il précise de plus que, s'il est évident qu'une nouvelle mesure est plus exacte que les anciennes et que l'on a évité dans la nouvelle mesure des erreurs systématiques que l'on n'avait pas évaluées à l'époque des mesures précédentes, on doit non pas faire une moyenne entre les résultats ancien et nouveau mais utiliser le nouveau résultat.

Le Président appuie fortement ce point de vue. Lorsqu'une expérience extrêmement complexe, malgré sa complexité, est soumise à des vérifications internes suffisamment rigoureuses, on peut accepter avec confiance son évaluation. C'est le cas par exemple, pour le travail de Sakuma au B.I.P.M. sur l'accélération due à la pesanteur ; même si la confirmation par d'autres expériences faisait totalement défaut, ce travail est d'une telle qualité que l'on devrait en accepter les résultats avec un taux de confiance bien supérieur à celui qu'on accorderait à la moyenne des résultats d'un certain nombre d'expériences moins exactes. D'après ce que l'on sait des travaux de Guildner ils appartiennent aussi à cette catégorie, malgré l'absence regrettable de publication de renseignements détaillés.

Mr Thomas dit qu'à son avis les travaux de Guildner sont excellents, mais il aimerait voir une confirmation des résultats ; il indique à nouveau que le Groupe de travail 3 n'a pas pu discuter à fond des résultats au-dessus de 140 °C et qu'au-dessus du point du zinc Guildner n'a donné aucun résultat. En conséquence, la P.T.B. ne serait pas d'accord pour écarter

les anciens résultats du thermomètre à gaz ni pour modifier les incertitudes admises au-dessus du point d'ébullition de l'eau.

Mr Hudson souligne que certaines expériences déterminantes (telles que celles de Guildner) sont si complexes, si longues et si coûteuses que les répéter pour confirmation est peu probable. Pour cette raison, ériger en principe qu'il est toujours nécessaire, avant de pouvoir changer une valeur dans l'E.I.P.T., de répéter une expérience pour la confirmer, rendrait vaines précisément ces expériences complexes et coûteuses dont on a le plus grand besoin pour améliorer et éventuellement remplacer l'E.I.P.T.-68, et en conséquence empêcherait de les entreprendre.

Mr Quinn remarque que l'on pourrait s'attendre à ce que les renseignements inclus dans le texte de l'E.I.P.T.-68 soient valables pour une dizaine d'années ; c'est également vrai pour les évaluations d'incertitudes, comme dans le Tableau VII. Par ailleurs, on peut proposer que le C.C.T. publie plus souvent les meilleures valeurs. Dans cette perspective, on pourrait supprimer totalement le Tableau VII et le remplacer par l'indication que le C.C.T. publiera de temps en temps les meilleures valeurs. Mr Hudson et Mr Thomas, tout en réfléchissant à cette idée, pensent qu'il est délicat de dire exactement pourquoi les incertitudes données au Tableau VII ne doivent plus être considérées comme valables.

A la fin de cette discussion, le Président propose qu'un sous-comité, constitué de MM. Bedford, Crovini et Mitsui, présente ultérieurement au C.C.T. une proposition écrite.

La suite de la discussion sur la révision du texte de l'E.I.P.T.-68 est reportée au point 4.

2. INFORMATION EN RAPPORT AVEC LA RECOMMANDATION T 1 (1971) DE LA 9^e SESSION DU C.C.T.

a) *Pyrométrie par rayonnement au-dessous de 1 064 °C*

Le Président ouvre la discussion sur ce point en rappelant la proposition du rapport du Groupe de travail 2 d'étendre le domaine pyrométrique de l'échelle vers le bas et celui du thermomètre à résistance de platine vers le haut pour qu'ils se rejoignent au point de l'argent (961,93 °C).

Mr Quinn rend compte des travaux effectués au N.P.L. dans ce domaine. Des travaux sont en cours pour utiliser des méthodes de comptage de photons et un photomultiplicateur sensible au rayonnement jusqu'à $\lambda = 850$ nm, afin d'avoir une sensibilité appropriée pour utiliser le pyromètre photoélectrique jusqu'au point de l'antimoine et si possible jusqu'au point du zinc. Par ailleurs, on a l'intention d'utiliser un thermomètre à rayonnement total à partir du point triple de l'eau jusqu'au point de l'étain et par la suite jusqu'au point du zinc (*voir* le Document CCT/74-21).

Mr Crovini rend compte des mesures faites à l'I.M.G.C. sur la réalisation du point de l'argent (*voir* le Document CCT/74-11). On a trouvé qu'en prenant des précautions raisonnables, on peut réduire l'influence de l'oxygène dissous à moins de 3 mK ; cela a été vérifié avec un thermomètre à résistance de platine. Il propose d'étendre l'échelle pyrométrique vers le bas, au moins jusqu'au point de l'argent. MM. Quinn et Dean remarquent qu'il n'est pas nécessaire que cette échelle et l'échelle du thermomètre à résistance de platine se rejoignent à un point fixe et qu'il se peut que 800 °C soit un meilleur choix pour la jonction des deux échelles. Voir aussi les travaux de J. Bonhoure (Document CCT/74-12).

Enfin, Mr Kemp signale que l'on vient de construire au N.S.L. un appareillage pour la thermométrie par rayonnement total au-dessous du point de l'or.

*b) Mesures des températures thermodynamiques au-dessous de
1 064 °C*

La discussion de ce point n'est pas poursuivie, car les résultats des récentes déterminations de la température thermodynamique ont été donnés par les Groupes de travail 3 et 4 et sont discutés aux points 1b et 1c. Il est évident qu'il serait extrêmement précieux d'avoir prochainement de nouveaux résultats au thermomètre à gaz au-dessus du point du zinc.

Comme il est dit au point 1c, de nouvelles déterminations de la température thermodynamique du point d'ébullition du néon et du point triple de l'oxygène seraient d'un grand intérêt.

c) Détermination du point de congélation du platine dans
l'E.I.P.T.-68

On en a déjà discuté au point 1a. Aucune autre information n'est présentée.

d) Mesures des températures au-dessus de 4 000 K

Le Président rappelle qu'on avait remarqué, lors de la dernière session du C.C.T., que le domaine des températures élevées devient de plus en plus important et que le C.C.T. devrait étudier la question des méthodes de mesure de température autres que celle du pyromètre optique classique inutilisable à ces températures. Le Président signale aussi qu'un peu partout se pose la question de mesurer des températures, pas aussi élevées que 4 000 K, mais dans des conditions particulièrement défavorables, en particulier dans les réacteurs nucléaires.

Mr Dean dit qu'au N.P.L. un groupe petit mais actif travaille depuis environ quatre ans dans le domaine des températures situées au-dessus de 4 000 K. Au cours de ces années l'intérêt pour les mesures de températures dans cette région n'a fait que croître de la part des milieux tant scientifiques qu'industriels. Il espère qu'après un certain nombre d'années le C.C.T. pourra prendre une part active pour coordonner les travaux sur les étalons et les techniques de mesure dans ce domaine.

Comme le Président demande de spécifier plus précisément le domaine de température concerné, Mr Dean répond que ce domaine s'étend de 4 000 K, ou un peu moins, à 14 000 K-20 000 K.

En ce qui concerne l'établissement d'étalons, le Président remarque qu'utiliser le rayonnement du synchrotron comme étalon absolu de rayonnement pour ce domaine élevé de température est si extraordinairement onéreux qu'il est virtuellement impossible de justifier son utilisation uniquement aux fins de mesures de température.

On discute de la question de savoir si le C.C.T. est le comité approprié pour s'occuper de ces températures élevées, mais Mr Dean souligne que de toute façon l'importance de ce domaine doit être portée à l'attention du C.I.P.M.

Mr Quinn remarque que le secrétaire de l'O.I.M.L. a récemment proposé la création d'un Groupe de travail sur les températures des plasmas.

Mr Moser dit qu'à l'I.N.M. on a construit un arc à plasma d'hydrogène que l'on utilise comme source de rayonnement entre 120 nm et 40 nm (Document CCT/74-17). Il invite les membres du C.C.T. à visiter ce laboratoire.

3. DOCUMENTS SOUMIS AU C.C.T.

a) Examen des documents autres que ceux qui ont trait aux points 1 et 2

Le Président introduit le sujet en mentionnant la nouvelle détermination de la constante des gaz au N.P.L. (voir le Document CCT/74-27) ; la nouvelle valeur est $(8\,315,59 \pm 0,18) \text{ J K}^{-1} \text{ kmol}^{-1}$ * alors que l'ancienne valeur était $(8\,314,41 \pm 0,26) \text{ J K}^{-1} \text{ kmol}^{-1}$. Il mentionne aussi l'importance des documents dans lesquels est donné l'état d'avancement des travaux expérimentaux dans les laboratoires nationaux.

Mr Hudson résume brièvement quelques-uns des documents soumis par le N.B.S. Le Document CCT/74-3 est un résumé de la thermométrie cryogénique au N.B.S. Il s'agit non seulement de fournir des renseignements sur les travaux actuels au N.B.S. mais surtout de centrer l'attention sur la thermométrie dans le domaine compris entre 20 K et quelques millikelvins. En particulier, les présentes recherches sur le thermomètre à bruit dans lesquelles on utilise des techniques mettant en oeuvre des jonctions Josephson, ont donné à penser qu'en employant des fréquences convenables on peut pousser l'utilisation du thermomètre à bruit de 1 mK environ à 1 ou peut être 10 K, de telle sorte que le même thermomètre absolu peut être utilisé sur un domaine relatif de 10^3 à 10^4 .

Mr Hudson mentionne aussi le Document CCT/74-9 dans lequel on suggère l'utilisation des mesures précises de capacité thermique des gaz pour déterminer des températures thermodynamiques dans le domaine de 0 °C à 100 °C. Des travaux dans cette direction sont en cours à l'Université de Karlsruhe en collaboration avec le N.B.S.

* Note ajoutée aux épreuves : Pour tenir compte de récentes corrections, cette valeur doit être remplacée par $(8\,316,00 \pm 0,17) \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kmol}^{-1}$.

Mr Plumb attire l'attention sur un autre document du N.B.S. (Document CCT/74-8) se rapportant au point de congélation de l'aluminium. Cinq échantillons d'aluminium ont donné, pour ce point de congélation, des températures comprises toutes à l'intérieur de 0,5 mK. Ceci est important car le N.B.S. n'est pas satisfait de l'extrapolation de l'échelle du thermomètre à résistance de platine au-dessus du point du zinc et a le sentiment que le point de l'aluminium est préférable au point de l'antimoine comme point fixe de définition pour l'échelle.

Mr Crovini mentionne deux documents de l'I.M.G.C. Dans le Document CCT/74-11 sur le point de congélation de l'argent, on donne une valeur expérimentale du coefficient de pression, c'est-à-dire de l'effet de la pression sur la température du point de congélation, et on propose d'ajouter cette information au Tableau V de l'E.I.P.T.-68. Le Document CCT/74-10 décrit les mesures sur le point de fusion de l'alliage eutectique cuivre-argent dont on a obtenu des réalisations très reproductibles. La température a été mesurée avec des thermocouples et on a obtenu $t_{68} = 779,60 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,15 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Le Président remercie Mr Crovini d'avoir fourni la valeur du coefficient de pression pour le point de congélation de l'argent.

Mr Bedford donne de brefs commentaires sur deux documents du N.R.C. Dans le Document CCT/74-1 on présente un calcul simplifié des "fonctions écarts" pour les thermomètres à résistance de platine au-dessous de 273 K et on discute les discontinuités des dérivées secondes de ces fonctions aux points fixes de définition. Dans le Document CCT/74-2 on propose une fonction écart plus simple : au lieu de diviser le domaine compris entre 13,81 K et 237,15 K en quatre parties, on utilise pour l'ensemble du domaine une fonction écart à 6 constantes.

Le Président remercie Mr Bedford et souligne l'importance de la proposition du Document CCT/74-2 pour le futur remplacement de l'E.I.P.T.-68.

Mr Mitsui porte le Document CCT/74-31 du N.R.L.M. à l'attention des membres. Dans ce document, on calcule les effets des erreurs d'étalonnage des thermomètres à résistance de platine à chacun des points fixes, à 273,15 K et au-dessous, sur les indications des thermomètres aux autres températures. Mr Plumb ajoute que Furukawa a publié des résultats semblables.

b) Date limite de présentation des documents pour les sessions futures

Le Président remarque que ce point a été soulevé lors des précédentes sessions mais que de nombreux documents sont encore souvent soumis très peu de temps avant ou même pendant la réunion. Plusieurs membres prennent part à la discussion et tous soulignent l'importance de recevoir les documents trois ou au moins deux mois avant la réunion. Mr Hudson regrette que, cette fois-ci, les personnes des laboratoires n'aient pas eu du tout la possibilité de lire la plupart des documents et d'en discuter avec leurs délégués au C.C.T. Même les personnes qui ont assisté à la réunion n'ont pas eu le temps de lire les documents qu'ils n'ont reçus qu'en réunion. Mr Kemp pense qu'il serait profitable que les Groupes de travail puissent se réunir à Paris une journée avant la session du C.C.T. pour étudier les documents qui ont été envoyés en retard.

Enfin, on accepte la déclaration suivante :

"On demande que les documents présentés au C.C.T. arrivent au B.I.P.M. deux mois avant la session, en reconnaissant toutefois que le C.C.T. pourra éventuellement faire des exceptions pour des résultats importants, donnés sous une forme très concise."

c) Publication des documents CCT/74-1 à 33

On est d'accord pour que ces documents soient publiés par le B.I.P.M. mais que la longueur maximale soit de deux pages ou l'équivalent de 500 mots. Dans le cas des documents plus longs, les auteurs peuvent envoyer au B.I.P.M. un résumé de deux pages au maximum dans les trois mois ; sinon le B.I.P.M. rédigera le résumé qui sera publié. On fera des exceptions pour les articles qui décrivent l'état d'avancement des travaux dans les divers laboratoires (Documents CCT/74-3 et 21 par exemple). Mr Terrien demande que les auteurs donnent dans les résumés la référence exacte de la publication dans laquelle paraîtra le document complet ; si le document complet ne doit pas être publié, un exemplaire doit en être envoyé au B.I.P.M. afin qu'il puisse en fournir une copie aux personnes intéressées qui en feraient la demande.

d) Publication des documents des Groupes de travail (principes généraux)

Les principes suivants sont acceptés. Les rapports complets des Groupes de travail qui ont été présentés jusqu'ici ne sont pas faits pour être publiés ni dans les comptes rendus du C.C.T. ni ailleurs, mais des résumés devraient être publiés dans les comptes rendus du C.C.T. (voir aussi le point 7). Toutefois, il peut arriver qu'un Groupe de travail obtienne des informations d'une importance si générale qu'elles devraient être portées à la connaissance d'un groupe assez large de lecteurs ; dans ce cas ces informations devraient être publiées dans *Metrologia* par le Groupe de travail après accord du C.C.T. Au cas où un article de ce genre serait prêt peu avant une session du C.C.T., l'accord de celui-ci pourrait être demandé lors de la session. Si le Groupe de travail désire publier un article de ce genre entre deux sessions du C.C.T., l'approbation des membres du C.C.T. sera demandée par correspondance. La procédure de cette approbation du C.C.T. par correspondance est précisée (Il suffit de l'absence d'opposition après avoir pris les précautions raisonnables pour s'assurer que les membres du C.C.T. ont bien eu connaissance du projet d'article).

4. RÉVISION DE L'E.I.P.T.-68

Discussion du rapport du Groupe de travail 1 (Suite)

a) Remarques d'introduction

Tirant la leçon de ses vingt années d'expérience au sein du C.C.T., le Président propose de faire quelques remarques sur la façon dont le C.C.T. a travaillé dans le passé et travaille à l'heure actuelle. Ces remarques devraient dissiper tout malentendu sur la situation des Groupes de travail ou des sous-comités. Vers la fin des années 50 et le début des années 60, le C.C.T. s'est réuni plusieurs fois dans le but d'étendre l'E.I.P.T. vers les températures au-dessous de 90 K et de la réviser là où c'était nécessaire. On a adopté les principes généraux de la nouvelle échelle qui en résultait lors de la session du C.C.T. en 1967. Un petit groupe de travail avait rédigé le texte qui fut envoyé par la poste aux membres du C.C.T. en leur demandant leurs commentaires ; en fait il y eut très peu de commentaires. Il devint évident avec le temps que cette méthode présentait d'énormes inconvénients.

A la suite de cette expérience, le C.C.T. déclara lors de sa session de 1971 que la discussion des modifications, et ultérieurement, le remplacement de l'E.I.P.T.-68 risqueraient d'être extrêmement difficiles et peu efficaces en sessions plénières du C.C.T. sans préparation suffisante. Pour éviter ces difficultés on a constitué des Groupes de travail en leur donnant comme instruction de préparer des documents écrits qui serviraient de base pour une future révision de l'échelle.

L'utilité des Groupes de travail s'est révélée inestimable pour le fonctionnement du C.C.T. ; ils lui demeurent toutefois subordonnés et leurs documents ne constituent que des propositions pour le C.C.T. : ces propositions peuvent être rejetées, modifiées ou acceptées selon les décisions du comité au complet. Les Groupes de travail n'ont aucun pouvoir de décision par eux-mêmes et il en est de même, bien entendu, pour les sous-comités qui ont été constitués au cours de la présente session du C.C.T.

b) Rapport du sous-comité sur les thermocouples [équations (13) à (15)] et paragraphe 2 des "Renseignements complémentaires" du texte de l'E.I.P.T.-68

Mr Quinn rend compte de l'avis du sous-comité. Les équations (13) à (15) devraient être conservées dans le texte. La force électromotrice au point de congélation de l'or devrait être 10 334 μV plutôt que 10 320 μV pour être en accord avec les nouvelles tables de référence. La tolérance au point de congélation de l'or devrait être $\pm 30 \mu\text{V}$ au lieu de $\pm 40 \mu\text{V}$; ceci tient compte de toutes les fabrications de thermocouples dont le sous-comité a connaissance.

Le sous-comité s'est prononcé contre la suppression des équations (14) et (15), car ces équations sont les seules à fournir l'assurance que l'alliage PtRh est fait de platine pur et de rhodium pur. Sans elles il serait possible, quoique peu probable, qu'un fabricant fasse un thermocouple de platine pur et d'un alliage de platine et de rhodium non purs qui, par chance, donnerait la force électromotrice exacte au point de congélation de l'or mais pas à ceux de l'argent et de l'antimoine.

Pour tenir compte des objections de Mr Crovini selon lesquelles $\pm 3 \mu\text{V}$ dans l'équation (14) est trop limitatif, le

sous-comité suggère $\pm 6 \mu\text{V}$. Il suggère aussi $\pm 8 \mu\text{V}$ au lieu de $\pm 5 \mu\text{V}$ dans l'équation (15) (*voir* le point 9 pour un complément de discussion sur les limites de variation autorisées).

Certaines modifications du texte sont aussi suggérées. Après une longue discussion, la décision est reportée au point 9.

c) Rapport du sous-comité pour compléter l'Annexe I

Ce sous-comité (Mr Dean) a préparé un projet d'adjonction à l'Annexe I, historique de la mise au point de l'E.I.P.T. On propose que cette adjonction donne la liste des différences les plus importantes entre l'édition originale et l'édition amendée de l'E.I.P.T.-68 :

1. Introduction du point triple de l'argon comme une alternative au point d'ébullition de l'oxygène.
2. La fonction de référence $W_{\text{CCT-68}}$ pour le thermomètre à résistance de platine au-dessous de 0°C est donnée sous une forme simplifiée.
3. Changement des critères de sélection des thermocouples (équations (13) à (15)).
4. Amélioration des "Renseignements complémentaires".
5. Suppression de la référence à l'"Echelle ^4He 1958" et à l'"Echelle ^3He 1962".
6. Adjonction d'une note sur les incertitudes de l'E.I.P.T.-68 au-dessus de 0°C (Tableau VII).

A la suite d'une suggestion de Mr Kemp, on est d'accord pour ajouter une phrase indiquant que l'on a changé les valeurs de quelques-uns des points de référence secondaires. Ceci est accepté mais conduit à une discussion sur l'évaluation des exactitudes des valeurs données dans la table des points de référence secondaires. Mr Kemp indique que beaucoup de personnes ont des problèmes provenant de l'incertitude où ils se trouvent quant à l'exactitude de ces valeurs. Toutefois, il ressort des travaux du Groupe de travail 2 combien il est difficile d'évaluer cette exactitude (*voir* point 1a). Le Président propose que l'on ajoute au tableau VII une note de bas de page disant que "Les incertitudes des valeurs de ces points de référence secondaires présentent des variations considérables ; elles seront données dans une publication ultérieure sous les auspices du C.C.T." La décision finale sur ce rapport est reportée à plus tard (*voir* point 9).

d) Rapport du sous-comité chargé des incertitudes dans
l'E.I.P.T.-68 au-dessus de 0 °C (Tableau VII)

Le sous-comité (MM. Bedford, Crovini et Mitsui) a préparé la proposition suivante :

Le sous-comité est d'avis que le tableau VII doit être supprimé dans l'Annexe I de l'E.I.P.T.-68 et que l'on insère le paragraphe suivant dans l'Annexe I modifiée :

"Comme mentionné précédemment, on a choisi les valeurs des températures attribuées aux points fixes de définition de l'E.I.P.T.-68 afin qu'elles soient en accord avec les meilleures mesures des températures thermodynamiques au moment où l'E.I.P.T.-68 a été promulguée. La plupart de ces températures thermodynamiques avaient été obtenues à partir de mesures au thermomètre à gaz. Depuis lors, de nouvelles données expérimentales, fondées tant sur la thermométrie à gaz que sur la thermométrie par pyrométrie optique, indiquent que les températures attribuées aux points fixes de définition peuvent s'écarter des températures thermodynamiques de quantités supérieures aux incertitudes données au tableau VII du texte original de l'E.I.P.T.-68. Pour l'instant il n'est pas possible de réviser ce tableau avec une confiance suffisante. Le C.C.T. publiera de temps en temps ses meilleures estimations des écarts des températures dans l'E.I.P.T.-68 par rapport aux températures thermodynamiques."

Mr Quinn remarque que Mr Thomas et lui-même (tous les deux membres du Groupe de travail 3) sont en principe d'accord avec cette proposition, mais ils préfèrent une autre rédaction, moins détaillée.

Cette proposition est en principe acceptée, mais la décision définitive est reportée jusqu'à ce que le texte proposé soit rédigé et distribué au Comité (voir point 9).

Le Président remarque que ceci complète en fait les discussions sur le texte amendé de l'E.I.P.T.-68, l'approbation définitive étant toutefois reportée à la fin de la session (voir point 9).

5. PROCHAINE SESSION DU C.C.T.

Le Président avait suggéré que l'intervalle entre deux sessions du C.C.T. soit de quatre ans, pour être au même rythme que les réunions de la C.G.P.M. Mr Dean a l'impression qu'un intervalle de quatre ans entre deux sessions est trop long ; le N.P.L. trouve que ces réunions sont extrêmement profitables. Mr Hudson suggère un intervalle de deux ans. Mr Kemp est d'accord avec cette suggestion. Le sentiment général est que, compte tenu de l'accroissement rapide des connaissances en thermométrie, un intervalle de deux ans est judicieux. L'accord se fait pour que la prochaine session ait lieu en 1976, très probablement au mois de juin.

6. FRÉQUENCE DES FUTURS RAPPORTS DES GROUPES DE TRAVAIL

Le Président remarque que, bien que les rapports annuels des Groupes de travail aient été extrêmement importants, un intervalle de deux ans serait peut-être plus approprié. Il est décidé que les Groupes de travail présenteront leur prochain rapport en janvier 1976. Mr Hudson suggère que les Groupes de travail peuvent, s'ils le désirent, présenter des rapports complémentaires plus tôt, ce qui est accepté.

7. PUBLICATION DES PRÉSENTS RAPPORTS DES GROUPES DE TRAVAIL

On a discuté au point 3d les principes généraux de la publication des rapports des Groupes de travail. On est d'accord pour que chaque Groupe de travail fasse un résumé de ses rapports qui comprenne les conclusions principales et envoie ce résumé au B.I.P.M. avant le 1^{er} août 1974. Ces résumés seront publiés dans les comptes rendus du C.C.T. L'approbation de ces résumés par le C.C.T. n'est pas nécessaire. Les rapports du Groupe de travail 1 constituent une exception car le texte complet de l'édition amendée de l'E.I.P.T.-68 sera bien entendu publié ailleurs.

8. TÂCHES ET COMPOSITION DES GROUPES DE TRAVAIL

a) Tâches des Groupes de travail

Le Président répète que le C.C.T. doit beaucoup aux Groupes de travail; ces Groupes ont beaucoup facilité la tâche du C.C.T., tâche autrefois très difficile. Comme introduction à la discussion sur d'éventuels changements parmi les membres des Groupes de travail, le Président fait les remarques suivantes. En général les Groupes fonctionnent très bien ; il est donc ni nécessaire ni opportun d'opérer des changements importants dans la composition des Groupes de travail existants. Lorsque c'est possible, il est souhaitable d'avoir dans les Groupes de travail des membres du C.C.T. ou des représentants au C.C.T., car cela facilite grandement les discussions avec celui-ci. A cet égard, le Président mentionne qu'il est à déplorer que les membres soviétiques des Groupes de travail n'aient pas pu assister à la présente session du C.C.T., d'autant plus que, par suite des difficultés de correspondance, ces membres n'ont pas été en mesure d'apporter aux Groupes de travail toute la contribution qu'ils auraient très certainement désiré apporter. Comme dernière remarque d'introduction, le Président insiste vigoureusement sur la limite de quatre membres, qui représente absolument le maximum pour que le Groupe travaille de façon efficace.

Il y a une discussion sur le meilleur moyen d'essayer d'améliorer les relations avec les membres soviétiques des Groupes de travail et avec les représentants soviétiques en général. Mr Skakala et Mr Terrien suggèrent que les lettres aux personnalités scientifiques soient adressées par l'intermédiaire du Comité d'Etat des Normes auprès du Conseil des Ministres de l'U.R.S.S., Leninski prosp. 9b, Moscou M 49 et peut-être même par l'intermédiaire du B.I.P.M.

Mr Kemp attire l'attention du C.C.T. sur la proposition suivante du Groupe de travail 4 de constituer un cinquième groupe de travail chargé de faire des rapports au C.C.T. sur les thermomètres utilisés en pratique dans le domaine compris entre 1 K et 30 K.

"En comparant les échelles pour les basses températures il est apparu de plus en plus évident qu'il y a un besoin urgent de faire des recherches sur des "thermomètres de laboratoire" dans le domaine

de température compris entre 1 K et 30 K. Plus de 90 % des mesures pratiques de température dans ce domaine sont faites avec des thermomètres à germanium. On a dépensé beaucoup de temps et d'effort dans les laboratoires nationaux et dans bien d'autres instituts de recherche pour venir à bout des instabilités de ces thermomètres, mais virtuellement aucune recherche n'a été faite nulle part pour améliorer les thermomètres.

"Bien que des recherches continues sur la détermination des températures thermodynamiques soient de grande importance, il semble au Groupe de travail 4 qu'il y a un déséquilibre entre l'importance des recherches dans ce domaine et l'importance des efforts déployés pour améliorer les "thermomètres de laboratoire."

"Les thermomètres pratiques (autres que les thermomètres à germanium) que l'on doit continuer à étudier comprennent les thermomètres à RhFe. Le Groupe de travail 4 suggère que le C.C.T. étudie la constitution d'un cinquième Groupe de travail pour donner en 1976 un rapport sur la situation actuelle des thermomètres de laboratoire et sur les possibilités d'améliorer cette situation".

Mr Hudson donne son appui à cette idée et dit que le N.B.S. est disposé à y participer. A cet égard, il mentionne la mise au point au N.B.S. d'un petit thermomètre magnétique. Mr Quinn donne aussi son appui et indique que le N.P.L. est également disposé à participer à ce Groupe de travail : depuis quelque temps ce laboratoire a une activité dans ce domaine qu'il considère comme de grande importance. On s'accorde pour qu'un cinquième Groupe de travail soit constitué, son rôle précis devant être discuté ultérieurement (*voir plus loin à Groupe de travail 5*).

Le Président propose une discussion sur les rôles et le maintien en activité des Groupes de travail 1 à 4.

Groupe de travail 1

Le Président rappelle que la tâche qui a été attribuée au Groupe de travail 1 en 1971 consistait à préparer la modification du texte de l'E.I.P.T.-68. Si l'édition amendée qui est proposée est acceptée cette tâche est accomplie, mais il était évident à l'époque où ce Groupe de travail a été constitué qu'il devait également préparer le remplacement ultérieur de l'échelle. Comme on peut penser que ce remplacement de l'E.I.P.T.-68 aura lieu en 1983, le Président propose que le

Groupe de travail 1 continue à exister et qu'il ait pour tâche la préparation du remplacement de l'E.I.P.T.-68. Le C.C.T. approuve cette proposition.

Groupe de travail 2

Le Président rappelle les deux tâches du Groupe de travail 2 : révision des points de référence secondaires et recherches sur des techniques simplifiées de mesure de la température. La première s'est avérée être une tâche difficile et exigeante, dont le Groupe s'est acquitté de façon extrêmement efficace. Il propose de maintenir également ce Groupe.

Mr Bedford remarque qu'on aiderait grandement les membres du Groupe de travail 2 si les renseignements relatifs aux travaux sur les points de référence secondaires effectués par les membres du C.C.T. ou portés à leur connaissance, étaient communiqués au Groupe de travail. Mr Moser signale qu'il serait utile de définir de façon plus précise les tâches de ce Groupe de travail, ce qui pourrait faciliter l'obtention des crédits nécessaires pour les accomplir. Le Président répond que cela ne doit pas interférer avec la souplesse nécessaire à l'accomplissement des tâches des Groupes de travail.

Mr Crovini souligne l'importance de l'existence d'un riche éventail de points de référence secondaires entre - 100 °C et 200 °C. Mr Hudson suggère que le NBS Office of Reference Data pourrait peut-être apporter son assistance au Groupe de travail en ce qui concerne les points de référence secondaires. Le Président dit que le domaine des basses températures est si spécialisé que l'on pourrait en décharger le Groupe de travail 2 et que l'un des Groupes de travail 4 ou 5 pourrait s'occuper de ce domaine.

Mr Crovini répète que dans le dernier rapport du Groupe de travail 2 on propose que les différents laboratoires coordonnent leurs activités dans le but de parvenir à une échelle provisoire pour le thermomètre à résistance de platine au-dessus de 630 °C. MM. Bedford et Crovini recommandent fermement que l'on propose au C.I.P.M. un effort coordonné pour définir et vérifier une échelle de température pour le thermomètre à résistance de platine au-dessus de 630 °C: lors du remplacement de l'E.I.P.T.-68, on aura absolument besoin de disposer de données suffisantes sur ce point. Mr Quinn souligne la liaison de ce

projet avec l'extension vers le bas de l'échelle pyrométrique ; le Président exprime l'intérêt particulier du Groupe de travail 1 et souligne que tous les moyens disponibles doivent être utilisés pour coordonner les travaux des laboratoires nationaux dans ce domaine.

En commentaire général, Mr Kemp demande si les Groupes de travail peuvent s'adresser à chaque laboratoire national pour demander de l'aide pour des tâches particulières ou pour recommander des travaux déterminés. Le Président répond qu'il encouragerait fortement les Groupes de travail à agir ainsi et il ajoute que les visites personnelles des membres des Groupes de travail dans les laboratoires nationaux sont très utiles à cet égard.

On est finalement d'accord pour que le Groupe de travail 2 soit maintenu, étant entendu que son rôle se développera dans le sens qu'a proposé Mr Crovini.

Groupes de travail 3 et 4

Le Président propose de discuter ensemble les tâches des Groupes de travail 3 et 4. Comme point mineur il suggère de changer le domaine de température du Groupe de travail 3 de $T > 100$ K à $T \gg 100$ K. Le Président demande alors au C.C.T. de dire si, à son avis, les tâches de ces Groupes de travail doivent demeurer ce qu'elles sont ou si on doit les modifier ; on doit tenir compte du fait que le Groupe de travail 4 a déjà préparé son programme de travail en y incluant une suggestion en vue d'une échelle pour les basses températures et en proposant la constitution d'un cinquième Groupe de travail chargé des thermomètres pratiques aux basses températures.

Mr Dean pense que ces Groupes de travail doivent poursuivre leurs travaux ; le Président est du même avis.

Mr Quinn demande au C.C.T. s'il souhaite que le Groupe de travail 3 présente, lors de la prochaine session du C.C.T., une liste provisoire des différences entre l'E.I.P.T.-68 et les températures thermodynamiques correspondantes. Mr Thomas pense qu'une telle liste préliminaire serait utile. Le Président remarque qu'en fait il incombe implicitement aux Groupes de travail 3 et 4 d'établir de telles listes et de les mettre continuellement à jour.

Mr Kemp indique que des travaux récents avec des thermomètres magnétiques ont montré qu'il est peut-être possible d'étendre la thermométrie magnétique jusqu'à près de 90 K avec une exactitude de l'ordre de 1 mK. Il faut cependant étalonner le thermomètre magnétique à certains points de référence. Pour cette raison, il serait très utile d'effectuer des mesures de températures thermodynamiques dans le domaine compris entre 25 K et 90 K.

On est d'accord pour maintenir aussi ces deux Groupes de travail et pour leur demander de poursuivre les travaux qu'ils ont entrepris.

Groupe de travail 5

Le Président ouvre la discussion sur la tâche précise du Groupe de travail 5, dont le C.C.T. vient d'accepter la constitution au cours de cette session. Mr Kemp suggère que l'on prenne comme point de départ de la discussion la proposition du Groupe de travail 4 au C.C.T. (*voir* plus haut). La discussion se centre sur la question, posée par Mr Dean, de savoir si le C.C.T. souhaite que le Groupe de travail 5 s'en tienne pour commencer à une partie déterminée du domaine de température au-dessous de 30 K, à cause du besoin impérieux de renseignements complémentaires dans ce domaine, ou si l'on ne fixe pas de limite inférieure à ce domaine de température. Le C.C.T. s'accorde pour dire que le Groupe de travail est chargé d'étudier "les thermomètres pratiques pour les basses températures au-dessous de 30 K".

b) Membres des Groupes de travail

Groupe de travail 1. - Le C.C.T. est d'accord pour trouver que le Groupe de travail 1 fonctionne bien et qu'on ne doit pas modifier sa composition.

En vue d'améliorer les relations avec les membres soviétiques des Groupes de travail 1 et 4, Mr Terrien informera les laboratoires soviétiques, par l'intermédiaire du Comité des Normes, de la reconduction des Groupes de travail.

Groupe de travail 2. - Mr Crovini souligne le très bon fonctionnement du Groupe de travail 2. A son avis la présidence devrait changer ; le Groupe de travail aimerait s'adjoindre un quatrième membre pour l'aider, étant donné l'étendue de ses

tâches. Mr Moser et Mr Bedford demandent à Mr Crovini de garder la présidence. Mr Crovini pense que la présidence devrait revenir à un membre dont l'anglais est la langue maternelle, mais Mr Quinn ne partage pas du tout cette opinion.

On s'accorde pour que la présidence reste à Mr Crovini et que Mr Bedford et Mr Moser continuent à faire partie de ce Groupe de travail. Le Président suggère de laisser en suspens pour le moment la question d'un quatrième membre, car il faut encore nommer les membres du cinquième Groupe de travail que l'on vient de créer.

Groupe de travail 3 et 4. - Parlant au nom du Groupe de travail 3, Mr Quinn rappelle que ce Groupe a eu ses difficultés mais qu'il doit poursuivre son action. Mr Thomas souligne la nécessité d'améliorer les relations entre les membres de ce Groupe de travail ; mais cela peut être arrangé ultérieurement. Mr Hudson annonce une réunion du Groupe de travail 3 à Washington dans un proche avenir. Mr Quinn souligne l'importance d'une telle réunion et le Président invite les membres du Groupe de travail 3 à visiter également le N.R.C. à cette occasion. Le Président résume l'opinion du C.C.T. : le Groupe de travail 3 travaille avec efficacité et doit continuer avec les membres actuels.

Le Président demande si l'on peut clarifier la situation de Mme Orlova. Le Groupe de travail 4 a reçu une lettre de Mr Astrov, de l'I.M.P.R., aux termes de laquelle Mme Orlova n'est plus à l'I.M.P.R. Mr Astrov s'occupe depuis longtemps de thermométrie aux basses températures et en particulier de l'établissement d'une échelle de l'I.M.P.R. entre 1 K et 30 K. Pour cette raison, Mr Kemp et Mr Durieux suggèrent de prendre des dispositions pour nommer Mr Astrov membre du Groupe de travail 4 à la place de Mme Orlova. Le C.C.T. approuve cette suggestion, les autres membres demeurant les mêmes.

Groupe de travail 5. - Avant d'aborder la discussion de la composition du Groupe de travail 5, le Président fait quelques remarques préliminaires. Il aimerait voir les laboratoires japonais et hongrois représentés dans un ou deux Groupes de travail. Il faut nommer trois ou quatre membres au Groupe de travail 5. Le Groupe de travail 2 a demandé un quatrième membre et il y a également place pour un quatrième membre au Groupe de travail 3. Les Groupes de travail 1 et 4 sont déjà au complet

avec quatre membres. Le Président demande à Mr Mitsui et Mr Skakala si leur intérêt et leur compétence se rapportent à l'un des domaines des Groupes de travail 5, 2 et 3. Mr Mitsui indique que son laboratoire est en cours de déménagement, et que de ce fait il ne peut guère pour le moment apporter une contribution expérimentale aux Groupes de travail ; toutefois il s'intéresse personnellement au domaine du Groupe de travail 5. Le Président propose que Mr Mitsui fasse partie du Groupe de travail 5. Mr Skakala remarque qu'il fait partie du C.C.T. à titre personnel ; il proposera que son institut en fasse partie. Un laboratoire pour les mesures de température est en cours de construction. Mr Skakala propose par conséquent de reporter à la prochaine session du C.C.T. la question de la participation de son institut à l'un des Groupe de travail, mais précise que le Groupe de travail 2 serait le plus approprié. Mr Brickwedde s'intéresse au domaine dont est chargé le Groupe de travail 4, qui comprend déjà quatre membres, et plus particulièrement aux échelles de l'hélium. Mr Kemp et le Président apprécieront la coopération de Mr Brickwedde pour arriver aux nouvelles échelles de l'hélium envisagées.

Le Président demande ensuite des suggestions pour d'autres nominations au Groupe de travail 5, soulignant que les membres des Groupes de travail doivent s'intéresser de façon marquée, déterminée et continue à la thermométrie aux basses températures. Pour Mr Kemp, le N.B.S. et le N.P.L. constitueraient des candidats appropriés, car les Etats-Unis produisent depuis longtemps des thermomètres d'usage et le N.P.L. a aussi une activité dans ce domaine. Mr Quinn propose que l'on confie la présidence au N.B.S. Le C.C.T. s'accorde finalement pour qu'un physicien du N.B.S. soit président, et que Mr Mitsui et un physicien du N.P.L. fassent partie du Groupe de travail 5.

9. RÉVISION DE L'E.I.P.T.-68 (*fin*)

Lecture est donnée du projet définitif du rapport du sous-comité sur les thermocouples, c'est-à-dire sur les nouvelles équations (13) à (15) et la nouvelle version du paragraphe 2 des "Renseignements complémentaires" (*voir point 4b*).

Mr Crovini remarque qu'il faut vérifier si les valeurs données pour les différences nominales entre les forces élec-

tromotrices aux points de congélation de l'or et de l'argent (1184 μV) et entre celles au point de congélation de l'or et à 630,74 °C (4774 μV) sont compatibles avec la nouvelle valeur de la force électromotrice au point de l'or. Mr Quinn vérifiera ces chiffres. Le projet est accepté par le C.C.T. avec la possibilité d'apporter de petites corrections aux deux chiffres mentionnés ci-dessus. Toutefois, à la suite d'un échange de correspondance postérieur à la session du C.C.T., on est revenu aux limites de variation autorisées à l'origine dans les équations (14) et (15) et on a ajouté au texte une note explicative.

Lecture est ensuite donnée du projet définitif des additions à l'Annexe (Annexe I dans le texte original de l'E.I.P.T.-68). Il s'agit du rapport du sous-comité sur l'Annexe I (*voir* point 4c) y compris la déclaration sur la suppression du tableau VII proposée par MM. Quinn et Thomas (*voir* point 4d). Après une longue discussion au cours de laquelle plusieurs membres manifestent leur souci de la qualité du texte, une version définitive de l'Annexe est acceptée.

Le Président souligne que maintenant le C.C.T. a accepté un texte complet de l'édition amendée de 1975 de l'E.I.P.T.-68. Ce texte sera traduit en français et communiqué au C.I.P.M.

10. FUTUR REMPLACEMENT DE L'E.I.P.T.-68

Le Président constate que le remplacement de l'E.I.P.T.-68 est généralement considéré comme nécessaire, essentiellement a) pour remplacer le thermocouple par le thermomètre à résistance de platine et le pyromètre à rayonnement, b) pour étendre l'échelle au-dessous de 13,81 K et si possible en modifier la définition entre 13,81 K et 20 K, c) si possible aussi pour modifier la définition des fonctions écarts pour le thermomètre à résistance de platine au-dessous de 273,15 K et, on l'espère, d) pour mettre l'échelle en meilleur accord avec les températures thermodynamiques sur la totalité de son étendue.

Le Président cite 1979, 1983 et 1987 comme dates auxquelles on pourrait adopter une nouvelle échelle si la C.G.P.M. continue à se réunir tous les quatre ans. Il suggère 1983 comme date la plus favorable. Le remplacement de l'échelle constituera le sujet le plus important des sessions futures du C.C.T.

11. DIVERS

Publication de compléments à l'E.I.P.T.— Les "Renseignements complémentaires" sur la réalisation pratique de l'E.I.P.T. étant considérablement abrégés dans l'édition amendée, Mr Moser, suggère de publier une monographie sur ce sujet. Cela pourrait être d'un grand intérêt pour les utilisateurs de l'échelle. Le Président apprécie particulièrement la suggestion de publier de telles informations sous les auspices du C.C.T. et pense que les Groupes de travail, en particulier le Groupe de travail 2, pourraient être en mesure de s'en charger.

Mr Kemp suggère qu'à l'avenir on supprime du texte de l'échelle les "Renseignements complémentaires" pour pouvoir plus facilement les tenir à jour sans être lié par les dates de modification ou de remplacement de l'échelle.

De plus, Mr Kemp remarque qu'il pourrait être utile de donner aussi des renseignements sur des réalisations moins précises de l'E.I.P.T., en particulier pour aider les pays en voie de développement.

Comparaisons internationales de thermomètres.— Mr Hudson demande quel est l'état d'avancement des comparaisons internationales de thermomètres. En réponse, Mr Bedford signale que les comparaisons de thermocouples entre le N.P.L., le N.B.S. et le N.R.C. sont achevées. Les nouvelles tables qui en résultent ont été acceptées aux U.S.A. et au Royaume-Uni et seront vraisemblablement acceptées sur le plan international (voir aussi le point 1a). Mr Mitsui signale qu'au Japon on modifie les normes industrielles japonaises pour les thermocouples, en accord avec les nouvelles tables.

Mr Quinn rend compte de la comparaison internationale des thermomètres à résistance de platine au-dessous de 273 K (voir C.C.T., 9^e session, 1971). Le N.P.L. a reçu des thermomètres en provenance du N.S.L. et du K.O.L. et les mesures ont commencé. Pour les comparaisons de thermomètres à germanium, Mr Kemp renvoie au Document CCT/74-33 et aux rapports du Groupe de travail 4.

Le Président saisit avec plaisir cette occasion pour remercier le N.S.L. et le N.P.L. pour le gros effort qu'ils sont prêts à faire respectivement dans ces comparaisons internationales de thermomètres à germanium et à résistance de platine. Ces comparaisons sont extrêmement importantes. En particulier, le Président remercie Mr Kemp pour les travaux excellents du N.S.L. dans les comparaisons des thermomètres à germanium qui semblent avoir déjà fourni une base pour une nouvelle échelle des basses températures.

*
* *

Le Président remercie les membres du C.C.T. pour leur contribution extrêmement efficace au succès de cette session, ainsi que Mr Terrien et son personnel pour l'aide permanente qu'ils ont apportée, en toutes occasions, au cours des réunions.

Mr Terrien remercie le Président en soulignant le rôle que le Président a eu dans la préparation et dans le succès de cette session.

(Août 1974)

RECOMMANDATION
du Comité Consultatif de Thermométrie
présentée
au Comité International des Poids et Mesures

RECOMMANDATION T 1 (1974)*

Le Comité Consultatif de Thermométrie,

1. *CONSIDÉRANT qu'on a fait beaucoup de progrès en thermométrie depuis la promulgation de l'Echelle Internationale Pratique de Température de 1968 (E.I.P.T.-68),*

RECOMMANDE que le Comité International des Poids et Mesures accepte que l'"Echelle Internationale Pratique de Tempéra-

* Les cinq points de cette Recommandation ont été approuvés par le Comité International des Poids et Mesures à sa 63^e session (septembre 1974).

ture de 1968, Edition amendée de 1975" remplace l'Echelle Internationale Pratique de Température de 1968".

2. CONSIDÉRANT qu'une grande partie des mesures thermométriques au niveau secondaire se situent dans le domaine de 100 K à 400 K et qu'il n'existe pas suffisamment de points de référence dans ce domaine,

RECOMMANDE que l'on entreprenne des recherches pour établir des points de référence secondaires reproductibles entre 100 K et 400 K et pour déterminer leur température dans l'E.I.P.T.-68.

3. CONSIDÉRANT que l'on reconnaît de façon générale que le thermocouple Pt-10 % Rh/Pt est très inférieur au thermomètre à résistance de platine et au pyromètre optique comme instrument étalon d'interpolation,

RECOMMANDE que l'on intensifie et coordonne les recherches pour étendre le domaine du thermomètre à résistance de platine vers les hautes températures et le domaine du pyromètre optique vers les basses températures.

4. CONSIDÉRANT l'intérêt croissant pour les températures au-dessous de 13,81 K et l'absence d'une échelle de température acceptée sur le plan international dans cette région,

RECOMMANDE que l'on fasse des recherches pour étendre l'E.I.P.T.-68 jusqu'à 2 mK.

5. CONSIDÉRANT l'intérêt croissant pour les mesures de température au-dessus de 4000 K tant dans les milieux scientifiques qu'industriels,

RECOMMANDE que les laboratoires nationaux étendent leurs recherches vers la détermination des températures supérieures à 4000 K.

7^e RAPPORT

DU

COMITÉ CONSULTATIF

POUR LA DÉFINITION DE LA SECONDE

AU

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

par B. GUINOT, Rapporteur

Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (C.C.D.S.) a tenu sa 7^e session au Bureau International des Poids et Mesures, à Sèvres, au cours de six séances, les mardi 9, mercredi 10 et jeudi 11 juillet 1974.

Étaient présents :

J. V. DUNWORTH, vice-président du C.I.P.M., président du C.C.D.S.

Les délégués des laboratoires et organisations membres :

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

Bureau des Longitudes, Paris (J. KOVALEVSKY).

Comité Consultatif International des Radiocommunications [C.C.I.R.] de l'Union Internationale des Télécommunications, Genève (Ch. STETTLER).

Commission Nationale de l'Heure [C.N.H.], Paris (B. GUINOT).

Conseil National de Recherches [N.R.C.], Ottawa (C. C. COSTAIN).

Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris [I.E.N.], Turin (S. LESCHIUTTA).

Laboratoire de l'Horloge Atomique du C.N.R.S., Université de Paris-Sud, Orsay (C. AUDOIN).

Laboratoire Suisse de Recherches Horlogères [L.S.R.H.], Neuchâtel (Ch. MENOUD).

National Bureau of Standards [N.B.S.], Boulder (J. A. BARNES).

National Physical Laboratory [N.P.L.], Teddington (A. E. BAILEY, J. McA. STEELE).

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

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [P.T.B.], Braunschweig (G. BECKER).

Radio Research Laboratories [R.R.L.], Tokyo (Y. SABURI).

Royal Greenwich Observatory [R.G.O.], Hailsham (H. M. SMITH).

Union Astronomique Internationale [U.A.I.], (W. MARKOWITZ).

U.S. Naval Observatory [U.S.N.O.], Washington (G. M. R. WINKLER).

Les membres nominativement désignés :

J. BONANOMI, directeur de l'Observatoire de Neuchâtel.

A. ORTE, sous-directeur de l'Instituto y Observatorio de Marina, San Fernando.

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

Assistaient aussi à la session : P. VIGOUREUX (N.P.L.), P. GIACOMO, sous-directeur du B.I.P.M., P. CARRÉ (B.I.P.M.) et M. GRANVEAUD (B.I.H.).

Excusé : U.S. Coast Guard, Washington.

Absents : Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin; Institut des Mesures Physicotechniques et Radiotechniques de l'U.R.S.S., Moscou.

Après les souhaits de bienvenue de Mr *Terrien* et du *Président*, la séance est ouverte.

Le *Président* exprime sa satisfaction au sujet du Temps Atomique International, TAI. Le TAI, adopté en octobre 1971 par la 14^e Conférence Générale des Poids et Mesures, a reçu une acceptation internationale. Il reste quelques détails à fixer par le C.C.D.S., détails qui pourraient être entérinés par le C.I.P.M. et la C.G.P.M. en mai 1975. De même, il n'y a pas lieu d'avoir des discussions de principe sur le Temps Universel Coordonné UTC défini par le Comité Consultatif International des Radiocommunications (C.C.I.R.), mais il convient de prendre une décision pour le recommander éventuellement comme base des temps légaux. Le C.C.D.S. aura aussi à donner ses conclusions sur les désignations des échelles de temps TAI et UTC. Le *Président* souhaite de larges échanges de vue, afin d'éviter toute décision hâtive.

Avec l'approbation du Comité Consultatif, le *Président* confie la tâche de rapporteur à Mr Guinot. Mr Vigoureux accepte de faire les traductions françaises et anglaises quand elles seront nécessaires.

1. Progrès des étalons atomiques de fréquence et des horloges atomiques

Mr *Audoin* présente les travaux accomplis au Laboratoire de l'Horloge Atomique (Orsay). Une méthode très directe pour mesurer le déplacement de fréquence des étalons à jet de césium, dû à l'effet Doppler

du second ordre, a été proposée; elle a été essayée avec succès en collaboration avec le Conseil National de Recherches à Ottawa. Des masers à hydrogène ont été construits et un système d'accord automatique de la cavité résonnante a été réalisé. Le laboratoire a aussi étudié les lasers à hélium-néon asservis sur une raie d'absorption saturée de l'iode ou du méthane.

Mr *Saburi* donne un compte rendu des travaux sur l'amélioration des masers à hydrogène par les Radio Research Laboratories (Tokyo) et sur l'étalon à jet de césium construit en 1971 par le National Research Laboratory of Metrology (Tokyo). Ce dernier instrument est en cours de transformation pour en faire un étalon primaire de fréquence; il a une cavité de 2,4 m et il est possible de renverser la direction du jet. Des déterminations absolues de la seconde sont attendues dans le courant de 1975. Mr *Saburi* regrette que les horloges à césium japonaises, bien comparées entre elles, ne puissent être bien reliées à celles qui participent à la formation du TAI et souhaite que des moyens de comparaison par satellites, par radiointérométrie ou autres soient mis en œuvre.

Mr *Becker* donne une estimation de l'incertitude de la fréquence de l'étalon à jet de césium CS1 de la Physikalisch-Technische Bundesanstalt : $\pm 1,5 \times 10^{-13}$ en valeur relative. Le décalage de la fréquence dû à la cavité est déterminé par renversement du jet et par l'utilisation de deux vitesses des atomes; les résultats des deux méthodes sont en accord. L'étalon à césium CS2 est en préparation. La P.T.B. dispose de deux masers à hydrogène dont l'un a été modifié afin qu'il puisse contribuer à la formation de l'échelle TAI. Les lasers à hélium-néon stabilisés par le méthane ont été aussi étudiés, mais Mr *Becker* ne pense pas que ces lasers puissent conduire à des étalons de fréquence supérieurs aux étalons à césium.

Mr *Winkler* fait part de l'expérience acquise à l'U.S. Naval Observatory (Washington) sur les nouvelles horloges à césium commerciales Hewlett-Packard 5061 A, Option 004, dont il exploite 17 exemplaires. Lorsque ces horloges sont neuves, leur stabilité en fréquence pour des temps d'échantillonnage inférieurs à cinq jours est bien supérieure à celle des horloges à césium ordinaires. Toutefois leur stabilité se dégrade progressivement. A une question de Mr *Saburi*, Mr *Winkler* répond qu'il peut y avoir une dérive de fréquence car la fréquence est issue de deux faisceaux qui n'ont pas strictement les mêmes propriétés et dont l'importance relative varie peu à peu; le constructeur espère remédier à ce défaut.

Mr *Winkler* signale que la Société Hewlett-Packard produit désormais de petites horloges à césium dont les qualités semblent avoisiner celles des horloges ordinaires. Il ne pense pas, cependant, qu'elles puissent être utilisées dans la formation d'échelles de temps.

Mr *Barnes* présente les étalons de fréquence du National Bureau of Standards. L'étalon à jet de césium NBS-4 a été employé depuis août 1973; l'étalon NBS-5 depuis janvier 1973. Les défauts d'exactitude

sont estimés respectivement à $\pm 3 \times 10^{-13}$ et $\pm 2 \times 10^{-13}$, en valeur relative. Les fréquences de ces deux étalons s'accordent à 2×10^{-13} près; dans les mêmes limites, elles s'accordent à celles de la P.T.B. et du N.R.C. (après correction de $1,8 \times 10^{-13}$ pour le décalage gravitationnel). NBS-5 est en cours d'amélioration afin d'accroître la stabilité et de permettre un fonctionnement continu.

Le N.B.S. étudie un étalon passif à hydrogène. Il poursuit ses travaux sur les lasers stabilisés et la synthèse des fréquences vers l'infrarouge. On est parvenu à résoudre la structure hyperfine de la raie du méthane utilisée pour stabiliser les lasers à hélium-néon, ce qui pourra conduire à une amélioration de la qualité des fréquences dans l'infrarouge.

Mr *Steele* espère que le nouvel étalon à jet de césium NPL III du National Physical Laboratory (Teddington) pourra fonctionner dans quelques mois et fournir une mesure de la seconde vers le milieu de 1975. Le défaut d'exactitude prévu est de ± 2 ou 3×10^{-13} . La longueur d'interaction est 93 cm. Des recherches sont poursuivies pour assurer l'égalité de phase dans les champs séparés pour l'excitation de Ramsey sans exiger des tolérances mécaniques trop étroites.

Deux masers à hydrogène sont employés pour les travaux à court terme. L'un d'eux sert à étudier la corrélation de l'effet de paroi avec les propriétés physiques des revêtements.

Mr *Costain* rappelle que l'étalon à jet de césium Cs III du Conseil National de Recherches (Ottawa) est à la base du TA (NRC) : les horloges à césium commerciales sont étalonnées deux fois par semaine sur les durées de 6 heures. Le nouvel étalon Cs V, ayant une longueur d'interaction de 2,1 m, a commencé à fonctionner en 1973, avec un défaut d'exactitude estimé de ± 1 à 2×10^{-13} . Son amélioration en cours devrait permettre d'éliminer les dérives de fréquence associées au niveau de puissance d'excitation et de le laisser en fonctionnement continu. Une nouvelle méthode a été conçue pour déterminer le décalage en fréquence dû à l'effet Doppler du second ordre; elle fait appel à la transformée de Fourier de la figure de Ramsey.

Les deux masers à hydrogène du N.R.C. font l'objet de recherches destinées à améliorer leur stabilité à long terme.

Mr *Leschiutta* fait état des recherches en cours à l'I.E.N. et à l'Université de Pise pour utiliser une structure fine du magnésium comme base d'une fréquence étalon. Ce jet atomique a été expérimenté avec succès et l'on tente de détecter la résonance.

Mr *Menoud* expose les recherches sur le maser à hydrogène faites au Laboratoire Suisse de Recherches Horlogères. A la place des couches de téflon obtenues par dispersion, on a essayé un dépôt chimique pour diminuer l'effet de paroi. Avec des couches de $0,1 \mu\text{m}$, on a obtenu de bonnes conditions d'oscillation avec un effet de paroi du même ordre de grandeur que pour les couches de $0,05 \mu\text{m}$ obtenues par dispersion.

D'autre part, une étude complète du sélecteur d'état, faite à l'aide d'un ordinateur, permet d'espérer une amélioration. Les sélecteurs à quatre pôles et à six pôles conduisent à des résultats comparables.

Au sujet de l'effet de paroi, Mr *Audoïn* précise qu'il désire opérer à la température où celui-ci disparaît.

Dans la discussion qui suit, Mr *Barnes* fait remarquer que les étalons à jet de césium approchent sans doute de leur limite d'exactitude, mais il ne se présente pas de dispositif supérieur. Pour cette raison, Mr *Costain* dit qu'il faut continuer à faire porter des efforts sur les étalons à césium. Mr *Winkler* souligne cependant l'intérêt de l'étude d'autres étalons et tout particulièrement de l'étude faite en Italie; il attire l'attention sur les estimations de Mr *Hellwig* selon lesquelles il est très probable que l'exactitude de $\pm 5 \times 10^{-14}$ puisse être atteinte par les étalons micro-ondes à jets; la même exactitude pourrait être atteinte par les lasers stabilisés, mais avec une probabilité moindre, tandis que les jets submillimétriques pourraient conduire à une exactitude de $\pm 1 \times 10^{-14}$.

2. L'échelle de Temps Atomique International (TAI)

Mr *Guinot* rappelle qu'à la 6^e session du C.C.D.S., il avait proposé d'établir le TAI à partir des données des horloges atomiques prises individuellement, dans le but d'améliorer sa stabilité à long terme. Une méthode de calcul a été élaborée et les essais ont porté sur les données de 1972 et de la première moitié de 1973. En juillet 1973, la nouvelle méthode de calcul (nommée ALGOS) a été mise en application. Elle est décrite dans le Rapport Annuel du B.I.H. pour 1973.

Les résultats sont obtenus tous les deux mois sous la forme de corrections, données tous les 10 jours, aux échelles de temps locales. Cependant, afin de conserver le rythme mensuel de publication, le B.I.H. a été conduit à faire une réduction mensuelle provisoire. L'écart entre les résultats définitifs et provisoires n'excède généralement pas 10 ns et n'a aucune conséquence pratique. Les établissements participants reçoivent tous les deux mois des tables donnant les corrections de marche appliquées aux horloges ainsi que les poids. Ces quantités seront publiées dans les Rapports Annuels du B.I.H.

Mr *Guinot* ajoute quelques commentaires :

— Les horloges utilisées sont toutes des horloges à césium commerciales. Leur nombre est de 55 à 60. Une dizaine d'horloges appartient à des laboratoires qui n'établissent pas un temps local indépendant; dans l'ancienne méthode de calcul, ces horloges n'auraient pas été utilisées. Il est toutefois regrettable que seules puissent être utilisées les horloges d'Amérique du Nord et d'Europe par suite de l'absence de liens horaires suffisants avec les autres continents. En particulier l'important ensemble d'horloges japonaises ne peut pas être utilisé.

— Les horloges à césium améliorées (Hewlett-Packard 5061 A, Option 004) ne paraissent pas bénéficier d'une stabilité à très long terme supérieure à celle des horloges normales. De ce fait, on ne leur a pas apporté de traitement statistique particulier. On note aussi que l'incertitude de l'exactitude est la même pour ces horloges que pour les autres et que certaines d'entre elles ont montré d'importantes dérives de fréquence.

— Les transports d'horloges ont révélé que les temps de propagation apparents des signaux de LORAN-C avaient un peu varié et qu'il existait entre les résultats publiés tous les 10 jours, basés sur le lien par LORAN-C, des incohérences atteignant $1 \mu\text{s}$. Un réajustement général des temps de propagation a été effectué en janvier 1974. Afin de permettre des comparaisons, le calcul par l'ancienne méthode qui consistait en une moyenne de sept échelles locales indépendantes de temps atomique a été poursuivi. On a fait arbitrairement coïncider en phase et fréquence les deux séries de résultats durant l'intervalle 1973 avril 27 - 1973 juin 26 afin d'assurer la continuité du TAI lors du changement de méthode de calcul. Du début de 1972 au début de 1974, les différences n'ont jamais excédé $\pm 1,5 \mu\text{s}$.

— Une étude comparative des horloges à césium commerciales neuves et anciennes, faite par Mr Granveaud, a montré que la fréquence des horloges décroît, la décroissance étant plus rapide pour les horloges neuves. Il en résulte que la fréquence du TAI décroît de 1 à 2×10^{-13} par an, résultat conforme à ceux qui ont été trouvés à la P.T.B. et au N.B.S. à l'aide des étalons primaires.

A cause des limitations par les erreurs non aléatoires des horloges et par les variations dues au mode de comparaison de temps, Mr *Guinot* ne pense pas que l'on puisse améliorer substantiellement la stabilité du TAI par l'usage d'un nombre accru d'horloges à césium commerciales des modèles existants ou par des algorithmes plus élaborés. Le recours aux étalons primaires construits par les laboratoires apporterait des gains non seulement en exactitude, mais aussi en stabilité comme il se propose de le montrer ultérieurement.

En réponse à des questions posées par MM. *Winkler*, *Barnes* et *Bailey*, Mr *Guinot* précise que les étalons primaires du N.B.S. et du N.R.C. n'entrent pas dans le TAI bien qu'ils soient utilisés pour les échelles de temps de ces établissements. Les dérives dans la propagation apparente du LORAN-C semblent progressives; on a observé des fluctuations de $\pm 0,2 \mu\text{s}$ dans la liaison transatlantique, mais sans périodicité bien définie. Le filtre rectangulaire appliqué à la prévision de marche des horloges permet un rejet des horloges fautives plus aisé que le filtre exponentiel suggéré par Mr *Barnes*.

Mr *Becker* a formé la moyenne des fréquences des échelles de temps de F. (France), O.N. (Observatoire de Neuchâtel), N.B.S., P.T.B. et R.G.O. et l'a comparée à la fréquence de l'échelle de l'U.S.N.O. pour le

milieu de 1970 et aussi pour le milieu de 1973. Le résultat fut que les fréquences des deux groupes, qui comprenaient approximativement le même nombre d'horloges commerciales, ont divergé de $6,1 \times 10^{-13}$ en trois ans, ce qui donne l'ordre de grandeur de la stabilité que l'on peut attendre des ensembles d'horloges commerciales.

Mr *Barnes* demande s'il est possible d'introduire des horloges autres que les horloges à césium dans l'algorithme du B.I.H. Mr *Guinot* répond qu'il est prévu de le faire, mais qu'on ne lui a pas encore communiqué de données. Mr *Barnes* estime qu'on devrait envoyer au B.I.H. les données des horloges de grande stabilité de tous types, afin qu'on puisse étudier leurs résultats, même si elles reçoivent un poids nul dans la formation du TAI et propose que l'on rédige une recommandation en ce sens (*Recommandation S 5* (1974), p. S 17).

3. Les méthodes de comparaison de temps aux distances intercontinentales

Plusieurs auteurs ont signalé des dérives de quelques dixièmes de microseconde dans les comparaisons de temps par LORAN-C. Au N.R.C., on pense que ces dérives ont même atteint $3 \mu\text{s}$, à cause de réflexions sur des immeubles en construction.

En réponse à ces remarques, Mr *Winkler* expose les précautions à prendre dans l'utilisation du LORAN-C qui restera courante sans doute pendant longtemps.

Il faut tout d'abord éviter les interférences locales avec d'autres émissions. Ces interférences sont d'autant plus redoutables que, grâce à la large diffusion des générateurs de fréquence très stables, elles sont cohérentes. Il convient donc d'utiliser des filtres. Il faut faire attention aux interférences des diverses chaînes de LORAN-C entre elles. Les antennes de réception doivent rester fixes; des déplacements minimes peuvent donner lieu à des variations des durées de propagation beaucoup plus grandes que celles qui correspondent au changement de distance depuis l'émetteur. L'échauffement des antennes exposées au soleil apporte des variations de $0,1$ à $0,2 \mu\text{s}$. Il faut aussi contrôler la stabilité des retards apportés par les récepteurs; Mr *Winkler* peut envisager d'organiser une tournée de contrôle à l'aide d'un appareil d'étalonnage. Quand toutes les précautions mentionnées sont prises, on n'observe pas de dérive dans les comparaisons de temps, lorsqu'on reçoit les émissions d'une même chaîne.

Pour assurer la liaison transatlantique, des comparaisons entre chaînes doivent être faites dans les stations de Cape Race et Ejde. Elles introduisent des incertitudes qui peuvent expliquer la dérive de $1 \mu\text{s}$ signalée par le B.I.H. Pour y remédier il faudrait faire des contrôles hebdomadaires par une méthode indépendante.

Les comparaisons de temps par transport d'horloge resteront une

nécessité, car elles réalisent une méthode absolue; leur précision atteint maintenant $0,1 \mu\text{s}$ et leur couverture est mondiale, mais on ne peut pas envisager d'en accroître le nombre. Les liaisons par satellites permettent aussi une précision de $0,1 \mu\text{s}$; elles sont utilisées entre les États-Unis et le Japon, mais elles souffrent encore de nombreuses pannes. On espère néanmoins assurer prochainement une liaison hebdomadaire. Un lien identique avec l'Europe est possible.

Mr *Barnes* souligne l'intérêt de méthodes de vérification du LORAN-C. Mr *Steele* rappelle les possibilités de la radiointerférométrie à très longue base: précision de 50 à 100 ns actuellement.

En conclusion à ces échanges de vues, la *Recommandation S 3* (1974), p. S 16, est rédigée.

4. Exactitude de l'intervalle unitaire d'une seconde du TAI

La durée de l'intervalle unitaire du TAI a été mesurée à l'aide des étalons à césium primaires de la P.T.B., du N.B.S. et du N.R.C. En 1973, les résultats s'accordent à environ 1×10^{-13} près (compte tenu de la correction gravitationnelle) et montrent que la durée de l'intervalle unitaire du TAI est trop courte de 10×10^{-13} en valeur relative. Cet écart doit-il être corrigé progressivement ou par saut de fréquence?

Avant qu'on réponde à cette question, Mr *Guinot* se propose d'examiner les possibilités offertes par le « pilotage » de la fréquence du TAI. En travaillant sur une échelle simulée présentant les propriétés du TAI et sur des étalonnages simulés au niveau de précision actuel, il a montré que, non seulement l'exactitude du TAI pouvait être supérieure à celle de chacun des étalons primaires, mais aussi que la stabilité était améliorée par rapport à celle de l'échelle « libre », même à court terme. Pour assurer la stabilité à court terme, il faut que les corrections de fréquence déduites de l'ensemble des étalonnages soient appliquées d'une manière progressive, sous forme d'une dérive de fréquence prolongée durant plusieurs années; un délai de 10 ans convient. Toutefois, ce résultat ne s'applique que si la fréquence initiale du TAI n'est pas excessivement inexacte, c'est pourquoi Mr *Guinot* propose que l'on fasse le plus tôt possible un ajustement de fréquence par saut de 1×10^{-12} et que l'on entreprenne le pilotage du TAI ensuite.

Mr *Winkler* estime toutefois qu'un saut de fréquence de 1×10^{-12} perturbera de nombreux utilisateurs qui maintiennent leurs horloges en coïncidence avec l'UTC (qui a même intervalle unitaire que le TAI). C'est, par exemple, le cas des stations de LORAN-C ou OMEGA. Il pense, de plus, qu'on ne devrait pas faire de correction avant de connaître les résultats des étalons à césium du N.P.L. et du N.R.L.M.

Mr *Becker*, qui est favorable à un saut de fréquence du TAI, fait

remarquer que l'on devrait utiliser la grande reproductibilité des nouveaux étalons primaires pour la stabilisation du TAI. Ainsi, la dérive du TAI serait réduite à quelques 10^{-14} par an.

La discussion s'ouvre. Bien que les avis soient partagés, on reconnaît que l'on doit satisfaire les exigences des utilisateurs pour lesquels la continuité importe plus que l'exactitude. D'autre part, comme d'une manière fortuite la durée de l'intervalle unitaire du TAI tend vers la seconde, il suffit, pour le moment, de laisser s'opérer cette dérive qui n'a gêné personne : l'erreur d'exactitude doit être résorbée en 5 ans environ si la dérive persiste. Il est finalement laissé à l'initiative du B.I.H. l'application d'un « pilotage » en fréquence, pourvu que la stabilité n'en soit pas amoindrie.

La *Recommandation* S 4 (1974), p. S 16, est établie à l'issue de cette discussion.

5. Rapport du Groupe de travail chargé d'examiner les conséquences de la *Recommandation* S 2 (1972)

Ce Groupe de travail, créé à l'initiative de Mr J. V. Dunworth, président du C.C.D.S., par lettre adressée le 16 mai 1973 à tous les membres du C.C.D.S., était constitué de Mr H. Smith (R.G.O.), président, et de MM. J. A. Barnes (N.B.S.), G. Becker (P.T.B.), B. Guinot (B.I.H.), W. Markowitz (U.A.I.), J. McA. Steele (N.P.L., représentant l'U.R.S.I.), G.A. Wilkins (R.G.O.), G.M.R. Winkler (U.S.N.O.).

Il était chargé d'examiner les conséquences de la *Recommandation* S 2 (1972), c'est-à-dire les points suivants :

- forme de l'échelle du TAI; définition de multiples de la seconde du SI, décompte continu des secondes;
- utilisation de cette échelle pour la vie courante.

A son mandat initial est venu s'ajouter l'examen de la *Résolution* 2 (août 1973) des Commissions 4 (Éphémérides) et 31 (Heure) de l'Union Astronomique Internationale, qui recommande que le TAI soit changé de 32 s afin de le mettre en accord avec le Temps des Éphémérides TE.

a) *Correction proposée de 32 s au TAI*

En commentant son Rapport (Annexe S 6), Mr *Smith* insiste pour qu'on n'applique pas cette correction de 32 s sans avoir de bonnes raisons. Il attire l'attention sur la lettre du 4 juillet 1974 de Mr *Wilkins*, ancien président de la Commission 4 de l'U.A.I., qui estime que l'U.A.I. a agi trop hâtivement.

Mr *Kovalevsky* estime qu'il n'est pas possible, pour le moment, de renoncer au concept du TE. Cependant, les astronomes sont décidés à adopter la seconde du SI : les constantes des futures théories de la

mécanique céleste doivent s'y conformer. Il faut donc assurer la conformité de la seconde du TE avec celle du SI en corrigeant au besoin les valeurs numériques entrant dans les théories du mouvement des planètes. Il apparaît cependant difficile d'adopter par ce moyen l'actuelle origine du TAI, c'est pourquoi l'on propose d'apporter au TAI une correction unique de 32 s. Il faut remarquer que l'on faciliterait ainsi l'utilisation future directe du TAI comme argument des éphémérides.

Mr *Markowitz*, comme représentant de l'U.A.I., présente des arguments analogues à ceux de Mr *Kovalevsky* en faveur d'une correction de 32 s. Comme membre du C.C.D.S., il fait remarquer que nous ne sommes pas liés par la Résolution de l'U.A.I., mais il pense que si le changement doit être fait, il vaut mieux le faire immédiatement.

Mr *Becker* serait d'accord pour une correction du TAI de 32 s si on pouvait le convaincre que cela est vraiment nécessaire, mais il estime que les raisons données par les astronomes ne sont pas suffisamment convaincantes.

Mr *Winkler* se réfère à son mémorandum du 28 janvier 1974 : le changement présente des avantages pratiques en astronomie et pourvoierait le TAI d'une « préhistoire » qui lui manque. Il désire que le changement se fasse sous forme d'une redéfinition de l'origine et non par un saut de temps.

Mr *Guinot* estime que dans l'avenir on devrait renoncer au concept du temps gravitationnel qui est à la base du TE et employer en Mécanique céleste le TAI qui est la meilleure mesure du temps. Si le changement de 32 s peut favoriser la disparition du TE, il est d'accord pour le faire, mais à la condition que cela ne gêne personne et il propose que l'on s'en assure.

Il semble que les seuls utilisateurs du TAI qui puissent être gênés sont ceux qui disposent d'observations en archives, notamment pour la recherche spatiale. Il leur serait assez facile de corriger ces archives.

Finalement, on ne trouve pas d'arguments décisifs, ni en faveur du changement, ni pour le repousser. On note que les astronomes ne sont pas unanimes (lettre de Mr *Wilkins*) et que l'U.A.I. n'a pas suffisamment expliqué pourquoi il était désirable de mettre le TAI en accord avec le TE. Il faudrait, d'autre part, recueillir l'avis des chercheurs qui calculent des orbites précises de planètes pour assurer la navigation de sondes spatiales. Un vote indicatif donne 9 voix en faveur du changement de 32 s, 5 voix contre et 4 abstentions.

Comme le Groupe de travail « Échelles de Temps et Constantes Fondamentales » de l'U.A.I. doit se réunir en octobre 1974, il est suggéré que cette question soit réexaminée et que, le cas échéant, l'U.A.I. présente au C.C.D.S. un exposé des avantages du changement du TAI. Le C.C.D.S. prendra alors sa décision après consultation de ses membres par correspondance (*Recommandation* S 2 (1974), p. S 15).

b) *Base des temps légaux*

Le C.C.D.S. doit examiner la Résolution de la Commission I de l'U.R.S.I. (1972) et la Résolution 1 de la Commission 31 de l'U.A.I. qui recommandent que le système de l'UTC soit adopté comme base de la diffusion de l'heure normale, ainsi que le projet de Vœu du C.C.I.R. qui demande que le C.I.P.M. et la C.G.P.M. reconnaissent le système de l'UTC.

A propos des vœux du C.C.I.R., Mr *Stettler* fait remarquer qu'ils seront examinés fin juillet 1974 par l'assemblée plénière du C.C.I.R. qui les adoptera très probablement. Si des changements dans les désignations d'échelles de temps sont décidés, il est encore temps de les introduire dans les documents du C.C.I.R.

D'après Mr *Terrien*, le C.C.D.S. ne doit pas se borner à reconnaître l'UTC mais il doit exprimer sa propre opinion. Il faudrait toutefois savoir qui est responsable de la définition du système de l'UTC.

On ne peut pas répondre simplement à cette dernière question. Le C.C.I.R. a peut-être outrepassé ses attributions en définissant l'UTC, mais il a travaillé en accord avec les unions scientifiques et les groupements concernés. Le procédé qui a conduit à l'UTC a peut-être été illogique, mais il a été efficace, comme le note Mr *Winkler*. Dans ces problèmes qui touchent un très grand nombre d'intéressés, on ne peut pas répartir très strictement les responsabilités et il importe de maintenir les liens existants.

Le *Président* suggère que l'on agisse comme pour le TAI, c'est-à-dire que l'on considère que le système de l'UTC est établi par le B.I.H. On rappellera que l'U.A.I., l'Union Géodésique et Géophysique Internationale (U.G.G.I.), l'U.R.S.I., le C.C.I.R. et le C.I.P.M. sont représentés au Comité de direction du B.I.H.

Il n'y a aucune opposition de principe à recommander l'adoption de l'UTC comme base du temps officiel. La *Recommandation* S 1 (1974), p. S 14, est rédigée en ce sens.

c) *Désignation des échelles de temps*

En ce qui concerne le Temps Atomique International, il est décidé de lui conserver son nom et son symbole TAI, au moins jusqu'à ce qu'une décision soit prise sur l'introduction d'une correction de 32 s. Selon le *Président*, il conviendrait de changer le nom si cette correction est faite. Le problème sera étudié par correspondance si le changement de 32 s est adopté.

La désignation « Temps Universel Coordonné » donne lieu à de nombreuses critiques.

D'après Mr *Becker*, la désignation ne devrait pas être liée à la construction de l'échelle de temps et devrait, par suite, rester valable même

si le mode d'établissement change. Il propose la désignation « Temps International » (TI). Mr *Costain* ne peut pas convaincre les autorités légales de son pays d'adopter UTC. La lettre « C » pour « coordonné » apparaît comme du jargon scientifique. Ces points de vue sont soutenus par MM. *Bailey, Barnes, Orte, Bonanomi* et *Wilkins* (par correspondance), tandis que Mr *Leschiutta* propose « Tempus Terrestre » (TT). Plusieurs membres pensent que l'adoption de TI pourrait conduire à la disparition de GMT qui est très largement utilisé comme équivalent de Temps Universel.

Mr *Guinot* rappelle que le sigle UTC est déjà très répandu, non seulement dans les travaux scientifiques, mais aussi dans des documents destinés au public : livres de cours, documents de l'U.I.T., ouvrages de vulgarisation. Pour le public, le « U » pour « universel » apporte la même idée que le « I » pour « international ». Puisque le « C » semble difficile à expliquer, il propose de l'abandonner et de désigner UTC par UT pour l'usage général. Bien entendu, dans les usages scientifiques, on restera libre d'employer UT0, UT1, UT2 et UTC.

Ce point de vue est accepté par MM. *Winkler, Markowitz*, ainsi que par MM. *Audoin, Kovalevsky, Terrien* et *Smith* qui ajoutent qu'il vaut mieux ne pas changer de nom tant que les règles de l'établissement de l'échelle de temps ne changent pas. Il paraît aussi être un compromis possible pour les membres qui sont en faveur de l'adoption de IT.

Avant toute décision, il convient cependant de s'assurer qu'aucun risque de confusion n'est à craindre dans l'usage des éphémérides astronomiques et dans les documents de navigation. Mr *Kovalevsky*, chargé de cet examen, fait part de ses conclusions.

Dans les éphémérides nautiques et aéronautiques la référence utilisée est soit GMT, soit TU ; dans les deux cas, on devrait prendre UT1, ce qui serait une amélioration. Dans les éphémérides astronomiques, il n'y a qu'un seul cas embarrassant : celui de la table de conversion de UT en temps sidéral ; elle s'applique à toutes les formes de UT, bien qu'on n'ait pas défini les variantes correspondantes du temps sidéral. Des explications seraient nécessaires. Dans les autres tables des éphémérides utilisant l'argument UT, des erreurs de plusieurs secondes sont sans importance. En conclusion, l'abandon de la lettre « C » n'a pas de grands inconvénients.

Plusieurs membres trouvent cependant que le risque de confusion serait moindre si l'on conservait la lettre « C ». Mr *Becker* propose d'interpréter le « C » comme « conventionnel ». La solution qui est finalement retenue est d'écrire « Temps Universel (Coordonné) », afin que le mot « coordonné » puisse être abandonné dans l'usage courant.

Il est souhaitable qu'il n'y ait qu'un symbole utilisé dans toutes les langues, mais il paraît difficile de l'imposer. Le C.C.D.S. exprime sa préférence pour les symboles UTC et UT qui devraient, en particulier, être utilisés dans les applications scientifiques.

6. Élargissement des tolérances de l'UTC

Mr *Smith* fait état des travaux de la Commission d'Études 7 du C.C.I.R. L'écart maximal entre UT1 et UTC ne devrait jamais excéder $\pm 0,9$ s. Aucune action du C.C.D.S. n'est requise à ce sujet.

7. Informations sur la valeur de la vitesse de la lumière

Mr *Terrien* apporte les informations suivantes.

Le Comité Consultatif pour la Définition du Mètre (C.C.D.M.) a décidé en 1973 de fixer les valeurs des longueurs d'onde des raies d'absorption du méthane et de l'iode qui se trouvent au voisinage de $3,39 \mu\text{m}$ et $0,63 \mu\text{m}$. Les mesures indirectes ou directes faites par rapport à la radiation du krypton dans six laboratoires s'accordent à $\pm 4 \times 10^{-9}$ près en valeur relative. La dispersion des mesures s'explique par le manque de précision de la réalisation du mètre, de sorte qu'il convenait de s'accorder sur les valeurs à utiliser pour éviter la prolifération de systèmes différents.

D'autre part, on a pu réaliser une mesure de la fréquence de la raie du méthane à quelques unités de 10^{-10} près. Il en résulte donc une mesure de la vitesse de la lumière c . Comme les astronomes effectuent des mesures précises de distances par temps de vol d'impulsions électromagnétiques, ils ont besoin de c pour assurer la conversion dans les unités du SI. C'est pourquoi le C.C.D.M. a déclaré que, de l'ensemble des résultats expérimentaux, il résulte que $c = 299\,792\,458$ m/s. Le C.C.D.M. n'a pas promis que cette valeur serait définitive; mais il est très probable qu'elle ne sera pas changée.

Il reste la possibilité soit de redéfinir le mètre d'après une longueur d'onde, ce qui pourrait conduire à changer la valeur de c , soit de fixer c et de réaliser ainsi une nouvelle définition du mètre. Cependant, dans la pratique, il apparaît possible de définir le mètre d'après une longueur d'onde, dans les limites d'incertitude de l'expérience, sans changer la valeur de c .

Mr *Winkler* demande pourquoi on n'envisage pas de prendre comme unité de base la vitesse de la lumière. Mr *Terrien* répond que cela bouleverserait le Système International d'Unités qu'il importe de garder sans changement important afin de ne pas gêner sa diffusion. On se contentera sans doute de définir le mètre comme un nombre de longueurs d'onde du césium. Une telle définition ne pourrait pas être utilisée directement pour des mesures de longueur d'étalons courants, mais on utiliserait des radiations étalons secondaires.

En conclusion d'une discussion ouverte par Mr *Becker*, le C.C.D.S. exprime l'avis que, quelles que soient les décisions concernant la définition du mètre et la vitesse de la lumière, on ne doit pas pour le moment changer la définition de la seconde.

* * *

Le *Président* remercie les membres du Comité Consultatif pour leur participation et plus particulièrement Mr Smith, président du Groupe de travail, dont l'excellent rapport a fourni une base solide pour les discussions. Il rappelle qu'un certain travail par correspondance pourrait être nécessaire au sujet d'un changement d'origine du TAI destiné à le mettre en accord avec le TE.

La session est close le 11 juillet 1974 à 17 h.

(Septembre 1974)

**Recommandations
du Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde
présentées
au Comité International des Poids et Mesures (*)**

Le Temps Universel (Coordonné) comme base du temps officiel dans tous les pays

RECOMMANDATION S 1 (1974)

Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde,

AYANT CONSTATÉ que le Temps Universel (Coordonné), UTC, a été adopté par le Comité Consultatif International des Radiocommunications, qu'il s'est révélé satisfaisant et qu'il est presque universellement utilisé,

CONSIDÉRANT que le Système UTC est établi par le Bureau International de l'Heure, que les informations correspondantes sont mises à la disposition des utilisateurs au moyen des signaux horaires étalons, qu'il fournit aux usagers du Temps Universel et du Temps Atomique une référence immédiate et que l'intervalle unitaire de l'UTC est la seconde du SI,

CONFIRME la déclaration du C.C.D.S. de 1972 selon laquelle l'acceptation quasi universelle de l'UTC peut fournir une base solide pour un système horaire acceptable internationalement,

(*) Ces cinq Recommandations ont été approuvées par le Comité International des Poids et Mesures à sa 63^e session (septembre 1974).

ESTIME que le moment est venu d'inviter la Conférence Générale des Poids et Mesures (C.G.P.M.) à recommander l'adoption de l'UTC comme base du temps officiel dans tous les pays,

ET CONSIDÈRE que la C.G.P.M. devrait recommander que l'on continue à mettre à la disposition des utilisateurs les informations supplémentaires fournies par le Système UTC.

Notes explicatives :

1) Sauf dans les cas où une confusion pourrait en résulter, la désignation Temps Universel (Coordonné), UTC, peut sans inconvénient être abrégée en Temps Universel, UT.

2) Le C.C.D.S. remarque qu'il y aurait avantage à désigner dans toutes les langues le Temps Universel (Coordonné) par UTC et le Temps Universel par UT.

3) GMT, qui est encore utilisé largement, peut être considéré dans la plupart des cas comme équivalent à UT. Il faut espérer que l'expression GMT sera progressivement remplacée par l'expression UT.

4) Le Bureau International de l'Heure (B.I.H.) est un des services permanents de la Fédération des Services Astronomiques et Géophysiques; il est placé sous la surveillance scientifique d'un Comité de direction qui comprend des représentants de l'U.A.I., de l'U.G.G.I., de l'U.R.S.I., du C.I.P.M. et du C.C.I.R. Il assume la responsabilité de l'établissement du Temps Atomique International (TAI), en accord avec les Résolutions 1 et 2 de la 14^e C.G.P.M. (1971). Lorsque le système UTC a été adopté par le C.C.I.R. pour la transmission radioélectrique des signaux horaires étalons, il a été demandé au B.I.H. de maintenir et de mettre en pratique ce système.

Différence entre le Temps des Éphémérides et le Temps Atomique International

RECOMMANDATION S 2 (1974)

Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde,

RECOMMANDE que le texte suivant soit transmis à l'Union Astronomique Internationale (U.A.I.) :

« La Résolution N° 2 adoptée conjointement par les Commissions 4 et 31 de l'U.A.I., à Sydney, en août 1973, fait état de « la nécessité » d'établir l'accord entre le TE et le TAI et prie le C.C.D.S. de décaler le TAI de 32 secondes. Cependant, cette requête n'a pas été accompagnée d'arguments permettant au C.C.D.S. de justifier une proposition de changement devant le Comité International des Poids et Mesures. De plus, certains documents récemment reçus par le C.C.D.S. semblent indiquer que l'accord entre le TE et le TAI pourrait être obtenu sans modifier le TAI.

« Comme le Groupe de travail « Échelles de Temps et Constantes Fondamentales » de l'U.A.I. doit se réunir en octobre 1974, le C.C.D.S. suggère que cette question soit examinée à cette occasion et que, si l'U.A.I. est d'accord avec les conclusions de ce Groupe de travail, elle transmette ses recommandations au C.C.D.S. Si l'U.A.I. recommande un décalage de 32 secondes du TAI, cette recommandation devrait être accompagnée d'un exposé des avantages que procurerait ce changement. »

Amélioration des comparaisons internationales de temps et de fréquence

RECOMMANDATION S 3 (1974)

Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde,

CONSIDÉRANT

— que les comparaisons intercontinentales de temps et de fréquence utilisent principalement le réseau Loran C et atteignent une exactitude de quelques dixièmes de microseconde;

— que, d'après l'expérience, les possibilités du réseau Loran C en matière d'exactitude ne sont peut-être pas toujours mises à profit, surtout à long terme;

— que des portions importantes de la surface du globe ne sont pas couvertes par le réseau Loran C;

— que les transports d'horloges atomiques constituent actuellement le moyen le plus sûr et le plus exact pour comparer les échelles de temps;

RECOMMANDE

— que l'on recherche, en plus des méthodes actuellement utilisées, des méthodes nouvelles ou plus efficaces pour les comparaisons intercontinentales de temps et de fréquence et que les résultats soient communiqués au Bureau International de l'Heure (B.I.H.);

— que les durées de propagation des signaux de télévision et de Loran C soient déterminées régulièrement avec exactitude, au moins une fois par an, par transport d'horloges ou par tout autre moyen;

— que l'on utilise autant que possible des appareils et des méthodes d'étalement identiques afin de tirer le meilleur parti des possibilités du Loran C ou de la télévision;

— que les comparaisons par transport d'horloges soient poursuivies et que le B.I.H. en soit informé à l'avance.

Amélioration de l'exactitude du Temps Atomique International

RECOMMANDATION S 4 (1974)

Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde,

CONSIDÉRANT

— le succès déjà obtenu par le Bureau International de l'Heure (B.I.H.) dans le maintien de l'échelle de Temps Atomique International (TAI);

— que, d'accord avec la « Mise en pratique du Temps Atomique International », l'intervalle unitaire du TAI devrait être égal à la seconde du SI réalisée au niveau de la mer;

— que les mesures de plusieurs laboratoires indiquent une dérive en durée de l'intervalle unitaire du TAI;

— qu'il est souhaitable que d'autres laboratoires entreprennent de contribuer à l'exactitude du TAI;

— que pour de nombreux usagers la continuité et la stabilité du TAI sont d'une importance majeure et qu'il est par conséquent désirable de restreindre les ajustements de fréquence du TAI à une valeur correspondant aux fluctuations aléatoires du TAI;

— qu'un algorithme a été mis au point par le B.I.H. afin de piloter l'intervalle unitaire du TAI selon la meilleure estimation de la seconde, tout en maintenant la stabilité de l'échelle;

RECOMMANDE

— que les laboratoires poursuivent le développement d'étalons primaires de fréquence et de temps;

— que les laboratoires déterminent périodiquement l'intervalle unitaire du TAI et qu'ils communiquent leur estimation au B.I.H.;

— que l'algorithme soit mis en service par le B.I.H.

Progrès futurs du Temps Atomique International par l'emploi de nouveaux étalons

RECOMMANDATION S 5 (1974)

Le Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde,

CONSIDÉRANT

— qu'il existe des horloges à hydrogène du type maser dont la stabilité à long terme est comparable à celle des meilleures horloges à césium;

— que des recherches sont en cours afin de mettre au point d'autres horloges à hautes performances;

EST D'AVIS que l'introduction en temps utile, dans l'algorithme du TAI, de données obtenues avec des horloges autres que les horloges à jet de césium, pourrait améliorer la stabilité et l'uniformité du TAI;

ET RECOMMANDE

— que les données disponibles en provenance d'horloges autres que les horloges à césium soient prises en considération pour l'établissement du TAI avec les poids statistiques qui seront déterminés par le Bureau International de l'Heure (B.I.H.);

— que les laboratoires étudient et mettent en service des étalons de fréquence à hautes performances autres que les appareils à jet de césium, qu'ils effectuent des comparaisons avec les étalons primaires à césium sur une longue durée et qu'ils communiquent les résultats au B.I.H.

4^e RAPPORT

DU

COMITÉ CONSULTATIF DES UNITÉS

AU

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

par P. VIGOUREUX, Rapporteur

Le Comité Consultatif des Unités (C.C.U.) s'est réuni au Bureau International des Poids et Mesures, à Sèvres, pour sa quatrième session ; il a tenu cinq séances les 18, 19 et 20 septembre 1974.

Etaient présents :

J. de BOER, Secrétaire du C.I.P.M., président du C.C.U.

Les délégués des laboratoires et organisations membres :

Commission Electrotechnique Internationale [C.E.I.] :
Comité d'Etudes N° 25 (O. BAGER).

Commission Internationale de l'Eclairage [C.I.E.] :
Comité Technique 1.1 (J. TERRIEN).

Conseil National de Recherches [N.R.C.], Ottawa
(H. PRESTON-THOMAS).

International Commission on Radiation Units and
Measurements [I.C.R.U.] (A. ALLISY).

National Bureau of Standards [N.B.S.], Washington
(C.H. PAGE).

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

Organisation Internationale de Normalisation [I.S.O.] :
Comité Technique 12 (H. JENSEN, Mme V. SIMONSGAARD).

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [P.T.B.],
Braunschweig (U. STILLE).

Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée
[U.I.C.P.A.] : Commission S.T.U. (M.L. McGLASHAN).

Union Internationale de Physique Pure et Appliquée
[U.I.P.P.A.] : Commission S.U.N. (E.G. RUDBERG⁽¹⁾,
U. STILLE).

Les membres nominativement désignés :

P. HONTI, Conseiller à l'Office National des Mesures,
Budapest.

L. VILLENA, Patronato "Juan de la Cierva" de Investi-
gacion Tecnica, Madrid.

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

Assistaient aussi à la session : P. GIACOMO, sous-
directeur du B.I.P.M. et H. MOREAU (B.I.P.M.).

Excusés : National Research Laboratory of Metrology
[N.R.L.M.], Tokyo. J. STULLA-GÖTZ, membre du C.I.P.M.,
Wien.

Absent : Comité d'Etat des Normes du Conseil des Minis-
tres de l'U.R.S.S., Moscou.

Le *Président* ouvre la séance en souhaitant la bienvenue aux membres présents. Il fait remarquer que l'ordre du jour est très étendu, et il pense que même dans les cas où le C.C.U. n'aboutirait pas à des décisions, la discussion des divers points sera néanmoins fructueuse.

Mr Vigoureux est désigné comme rapporteur, assisté de Mr Moreau comme secrétaire.

Le projet d'ordre du jour de la réunion est adopté, avec quelques modifications de l'ordre dans lequel les divers points devront être discutés.

(1) Mr Rudberg n'a pu assister qu'aux deux premières séances du 18 septembre.

1. UNITÉS DES GRANDEURS LOGARITHMIQUES (néper, décibel)

(Documents CCU/74-2, 14 et 19)

Le C.C.U. avait déjà considéré, à sa 3^e session (1971), l'attribution de dimensions aux grandeurs logarithmiques telles que le néper et le bel et leur inclusion dans le Système International d'Unités, mais il avait décidé que cette extension du SI n'était pas opportune. La question est de nouveau soulevée à cause d'un désaccord entre la C.E.I. et l'I.S.O. au sujet de ces grandeurs, que l'I.S.O. a toujours jusqu'ici tenu à considérer comme exclusivement non dimensionnelles, tandis que la C.E.I. préférerait leur voir attribuer une position quelque peu analogue à celle des unités supplémentaires.

Mr *Bager* et Mr *Page* ayant fait remarquer, au nom de la C.E.I., que si l'on identifiait le néper au nombre 1, il serait incorrect de faire de même pour le bel ou le décibel, puisque l'expression d'un même rapport en fonction de ces trois unités logarithmiques donne trois nombres différents.

Mr *Jensen* dit que l'I.S.O., prenant en considération les besoins et les arguments de la C.E.I., a quelque peu modifié son attitude au sujet de ces grandeurs et qu'elle est prête à se rapprocher de la position prise par la C.E.I., étant donné que le néper et le décibel sont utilisés surtout par les électriciens.

Le *Président* croit que les vues, quoique encore un peu différentes, tendent à se rapprocher. A l'argument des membres parlant au nom de la C.E.I. qui considère que si une de ces unités n'est pas déclarée unité SI les ingénieurs dans les pays sur le point d'adopter le Système International n'auraient le droit d'utiliser ni le néper, ni le décibel, il répond que si ces grandeurs logarithmiques et leurs unités ne sont pas incluses dans le SI, on est libre de se servir de celle que l'on préfère. Il ajoute que le néper ne serait peut-être pas déplacé parmi les unités supplémentaires, mais le moment n'est pas venu de l'y mettre parce que les vues sont encore trop différentes. Finalement, les membres du C.C.U. estiment qu'actuellement une recommandation du C.C.U. ne serait pas justifiée.

Le C.C.U. discute alors brièvement la proposition de donner un nom à l'intervalle unitaire de la série R10 de Renard. (Cet intervalle est égal au décibel, mais ce nom ne convient pas parce qu'il est exclusivement réservé à la puissance). Le C.C.U. est d'avis que la question est plutôt du ressort de l'I.S.O. et, étant donné que le besoin d'exprimer en unités logarithmiques le rapport des valeurs de grandeurs autres que la puissance ne s'est pas encore fait sentir, il décide de ne pas intervenir en la matière.

2. NOM ET SYMBOLE POUR LE NOMBRE 1

(Document CCU/74-17)

L'usage des préfixes avec les symboles d'unités inverses a toujours été la cause d'une certaine ambiguïté, sinon pour les scientifiques du moins pour le public. C'est pourquoi diverses organisations ont souvent sollicité du C.C.U. l'attribution de noms et de symboles spéciaux à de telles unités. Avant de discuter les cas spéciaux, par exemple le mètre à la puissance moins un (m^{-1}) pour l'unité de fréquence spatiale, ou la seconde à la puissance moins un (s^{-1}) pour l'activité en radiologie, le C.C.U. examine la proposition plus générale de l'I.S.O. qui consisterait à faire précéder le symbole d'une unité quelconque par le symbole I, du chiffre "un" romain. Un des avantages de cette notation serait que les préfixes s'appliqueraient à l'unité en question, à l'encontre de ce qui a lieu par exemple dans le cas où un préfixe est directement attaché au symbole d'une unité de base élevée à une puissance autre que 1.

Après examen d'autres propositions faites par divers membres pour atteindre le même but, le C.C.U. tombe à peu près d'accord pour préférer celle de l'I.S.O., bien que, selon MM. Bager et Page, la C.E.I. s'oppose au choix du I romain parce qu'elle ne trouve pas cette solution satisfaisante pour l'incertitude, la concentration, etc., qui sont exprimées à présent en parties par mille, par million, etc., et pour lesquelles la C.E.I. a proposé une autre solution (voir le point 17). Quelques membres font d'ailleurs ressortir que l'insertion du I faciliterait la manipulation non seulement des unités simples inverses (par exemple kI/m ou $kI \cdot m^{-1} = 1000 m^{-1} = 1 mm^{-1}$), mais aussi des unités composées, par

exemple le mètre cube (m^3) pour lequel on a demandé au C.C.U. d'envisager l'adoption d'un nom spécial (*voir* le point 13 et les documents CCU/74-9, 16 et 20).

La proposition examinée naguère par le C.C.U., (C.C.U., 2^e session, 1969, p. U 15) et renouvelée dans le document CCU/74-16 soumis à la présente session, d'admettre l'usage de "SI" comme symbole pour n'importe quelle unité pourvu que la grandeur correspondante soit indiquée, est brièvement discutée. De même qu'auparavant, le C.C.U. se refuse à recommander cet usage, et il trouve la proposition de l'I.S.O. plus claire et plus pratique, puisqu'il est bien entendu que le "un" romain I sera toujours suivi du symbole de l'unité de la grandeur considérée.

Le C.C.U. aborde ensuite la question de la prononciation du I, et finit par décider, sur l'avis de Mr *Rudberg* et du *Président*, qu'il est préférable pour le moment de ne pas donner de règles pour la prononciation de ce symbole, surtout puisque le mot "un", comme aussi le mot "unité", diffère d'une langue à l'autre.

3. NOM ET SYMBOLE POUR L'UNITÉ DE FRÉQUENCE SPATIALE (nombre d'ondes) m^{-1} (Document CCU/74-5)

Après la discussion générale du point 2, le C.C.U. passe à l'examen du cas particulier de l'unité de fréquence spatiale et de ses multiples.

Mr *Jensen* rappelle que l'I.S.O. s'est prononcée contre l'attribution de noms spéciaux d'unités pour des domaines spéciaux, à moins qu'il n'y ait de très bonnes raisons pour se départir de cette règle.

Le *Président* fait remarquer que les spectroscopistes ont jusqu'ici utilisé le centimètre à la puissance moins un (cm^{-1}), qu'il trouve légitime et parfaitement approprié à leurs travaux.

Mr *Jensen* dit cependant que même avec le cm^{-1} le besoin d'un nom s'est fait sentir, comme le prouve l'emploi occasionnel qui a été fait du "kayser". L'usage du I ("un" romain)

proposé par l'I.S.O. (voir le point 2) serait une solution.

Le C.C.U. décide qu'il suffit, en réponse au document, de déclarer qu'il n'y a aucune objection à l'utilisation du cm^{-1} en spectroscopie.

4. UNITÉS SI DANS LE DOMAINE DES RAYONNEMENTS IONISANTS

(Documents CCU/74-3, 4 et 18)

En radiologie médicale on emploie trois unités spéciales, à savoir : le curie (Ci) pour l'activité, le röntgen (R) pour l'exposition et le rad (symbole rad) pour la dose absorbée. La Commission Internationale des Unités et Mesures de Rayonnements (I.C.R.U.) désirant coopérer avec le C.I.P.M. pour assurer l'adoption mondiale du Système International, a examiné la possibilité de remplacer ces unités, dont les radiologistes sont cependant parfaitement satisfaits, par les unités SI correspondantes. Dans un mémoire (CCU/74-18) que présente Mr *Allisy*, l'I.C.R.U. propose des noms et des symboles spéciaux pour la seconde à la puissance moins un (s^{-1}) et le joule par kilogramme (J/kg) qui remplaceraient le curie et le rad, mais non pour le coulomb par kilogramme (C/kg), qui remplacerait le röntgen, étant donné l'usage plus restreint de la grandeur "exposition".

Le C.C.U. discute d'abord de l'unité d'activité, la s^{-1} . Mr *Allisy* explique que l'I.C.R.U. comprend parfaitement les raisons qui conduisent le C.I.P.M. à refuser d'introduire des noms spéciaux, mais ici l'absence d'un nom spécial, et l'ambiguïté que pourraient causer les préfixes attachés à s^{-1} , présenteraient des risques totalement inacceptables, car ces unités sont utilisées non seulement en physique, mais surtout en médecine et dans les hôpitaux. Si le C.C.U. décidait que le nom "hertz" et le symbole Hz sont applicables d'une manière générale aux grandeurs de dimension s^{-1} , et non à la seule fréquence, l'I.C.R.U. accepterait cette décision et emploierait le hertz, mais à contre-coeur. Elle préférerait de beaucoup soit un nom applicable seulement aux rayonnements ionisants, par exemple "becquerel", symbole Bq, ou encore un nom applicable à toutes les unités de dimension s^{-1} , par exemple "fourier", symbole Fr.

Au cours de la discussion qui suit quelques membres s'expriment d'abord en faveur du hertz pour la s^{-1} en général, et partant pour l'activité, mais les arguments de MM. *Rudberg*, *Stille* et *Page* semblent convaincre la majorité qu'un nom spécial devrait être attribué exclusivement à l'unité d'activité. Leurs arguments portent surtout sur les risques de malentendus entre médecins et infirmières, malentendus susceptibles d'avoir des suites tragiques.

Mr *Page* insiste aussi sur la confusion et les doutes qui pourraient être engendrés par l'emploi du hertz dans deux domaines qui parfois se rapprochent : ainsi le rayonnement d'un radar à la fréquence de 57 GHz peut être dangereux, et le danger serait lui-même mesuré en GHz !

Le *Président* fait alors une remarque générale : il est bien d'accord avec tous ceux qui désirent maintenir la pureté et la simplicité du SI, et qui par conséquent hésitent à permettre des noms spéciaux dans des domaines particuliers ; mais l'expansion de la technique et de la société nous obligent parfois à étendre le système, et dans l'intérêt même de son adoption générale nous voyons forcés d'accepter les demandes de noms spéciaux lorsqu'elles s'appuient sur de très bonnes raisons.

Les membres décident finalement, à l'exception de Mr *McGlashan*, de recommander au C.I.P.M. d'admettre pour l'unité SI d'activité le nom "becquerel", symbole Bq, en l'honneur du physicien français Henri Becquerel (1852-1908). Certains membres ayant réservé leur opinion, leur accord a été confirmé après la décision relative au non-emploi du hertz comme unité d'activité (*voir* la fin du point 5).

Avant de passer à l'examen de l'unité de dose absorbée, le *Président* fait remarquer, à propos des discussions ci-dessus au sujet de la s^{-1} , qu'une grandeur a une, et une seule unité, mais que l'inverse n'est pas toujours vrai : en effet, l'unité n'indique pas la grandeur d'une façon unique. La fréquence, par exemple, et le nombre de photons par seconde, ont la même unité de base, mais sont des grandeurs différentes. Il est d'avis que sur cette question la note *b* du paragraphe II.2.1, à la page 11 de la brochure "Le Système International d'Unités" représente mieux la pensée du C.C.U. que ne le fait

la déclaration à la page U 15 du rapport de la 3^e session (1971) du C.C.U., où les mots "significations identiques" ne sont pas tout à fait appropriés. Les membres, sauf Mr *McGlashan*, sont d'accord pour approuver cette remarque du Président.

Le C.C.U. passe ensuite à l'examen de la demande de l'I.C.R.U. au sujet de l'*unité de dose absorbée* (joule par kilogramme). Mr *Allisy* explique que le cas est encore plus important que celui de l'activité parce qu'on le rencontre tous les jours en médecine, dans les hôpitaux par exemple. Les mots "par kilogramme" peuvent donner lieu à de nombreux malentendus, et dans le langage courant les infirmières et même les médecins prendraient l'habitude de dire "joules" tout court, ce qui est incorrect.

Une discussion s'ensuit au cours de laquelle Mr *Stille* rappelle que d'autres grandeurs, par exemple en thermodynamique, ont mêmes dimensions que la dose absorbée. Le C.C.U., prenant en considération la demande de l'I.C.R.U. et les risques et dangers qui pourraient s'ensuivre s'il n'agréait pas la demande, décide d'admettre, mais seulement pour l'unité J/kg de la dose absorbée, le nom spécial *gray*, symbole Gy.

A la demande du Président, Mr *Allisy* indique que le physicien anglais Louis Harold Gray (1905-1965), en dehors de brillantes recherches en Angleterre et aux Etats-Unis d'Amérique dans le domaine de la dosimétrie du rayonnement et de l'action des rayonnements ionisants sur les cellules et les tissus, a pris une part active dans l'étude et l'élaboration des définitions des grandeurs et unités dans le domaine des rayonnements ionisants, et que ses travaux ont rendu possible la définition de la dose absorbée.

En conclusion de cette discussion, le C.C.U. approuve la *Recommandation U 1* (1972).

5. EMPLOI DU HERTZ COMME UNITÉ DE GRANDEURS NON PÉRIODIQUES

En 1971, le C.C.U. (3^e session, p. U 14) avait discuté la question de l'usage du nom hertz pour l'unité non seulement de la fréquence mais aussi de toute grandeur de dimension s^{-1} , et

il avait alors convenu que "... Il doit donc toujours rester permis d'utiliser indifféremment l'unité hertz, et son symbole Hz, ou l'inverse de la seconde, s^{-1} ". Cette phrase prise par elle-même et hors du texte, est ambiguë, et pourrait donner à penser que le C.C.U. préconisait aussi l'emploi du hertz pour des grandeurs autres que la fréquence. En conséquence, le C.C.U. a discuté la question de nouveau afin de mettre les choses au point.

Mr Page ayant rappelé que le hertz avait été créé pour les phénomènes périodiques, et qu'il devrait être réservé seulement pour ceux-ci, Mr Allisy fait observer qu'il y a toujours du bruit associé à tous les phénomènes que nous observons, qu'ils ont toujours par conséquent un caractère stochastique, et non, strictement parlant, périodique. A cela plusieurs membres sont d'avis que c'est l'idée de fréquence qui est importante et que le hertz n'est pas applicable même à la pulsation. Le *Président* pense de même et voudrait voir supprimer les mots "d'un phénomène périodique" après "fréquence" dans la note b de la page 11, section II.2.1 de la brochure "Le Système International d'Unités SI" (2^e édition, 1973).

A la question posée par Mr Terrien : "Est-ce que le hertz est applicable à l'activité ?", le *Président* répond non. La question est réglée par un vote du C.C.U., qui décide dans sa majorité "que le hertz n'est pas applicable à l'activité, mais seulement à la fréquence."

6. PRÉFIXES ET SYMBOLES SI POUR 10^{15} ET 10^{18}

(Documents CCU/74-6, 20 et 21)

Le C.C.U. à sa 3^e session (1971, p. U 13), avait déjà examiné l'attribution de noms et de symboles pour les puissances 15 et 18 de 10 et il avait trouvé que les mots peta, symbole P, et exa, symbole E, constituaient un choix assez convenable ; il avait toutefois estimé que le besoin de ces nouveaux préfixes n'avait pas à ce moment un caractère d'urgence.

Dans l'intervalle, les demandes pour ces préfixes sont devenues plus nombreuses, non seulement pour la fréquence spatiale et pour l'activité des rayonnements ionisants, mais aussi pour l'énergie sur le plan national. A propos de cette

dernière application, Mr *Vigoureux* dit qu'il a même reçu une demande pour la puissance 21 de 10.

Le C.C.U. examine plusieurs choix différents de mots formés à partir des nombres cardinaux grecs ou latins. Comme certains des préfixes sont très anciens, d'autres plus récents, et comme la plupart ont été choisis sans grand souci de systématisation, il est difficile de produire une liste de noms logiques tout en conservant bien entendu les préfixes déjà en usage. Plusieurs membres font remarquer qu'une solution est d'utiliser autant que possible les exposants plutôt que les préfixes, et d'écrire 10^{-12} , 10^{15} , etc. Mr *Preston-Thomas* pense que, pour la lecture aussi bien que pour l'écriture, il suffirait d'ajouter au nombre la lettre majuscule E suivie de l'exposant, par exemple 1,602 19 E-19, à la manière de l'écriture adoptée pour les ordinateurs.

Finalement, le C.C.U. décide de recommander au C.I.P.M. les préfixes *peta* (sans accent sur le e, même en français), symbole P, pour 10^{15} et *exa*, symbole E, pour 10^{18} . Ces deux noms proviennent du grec (*pente*, cinq et *exa*, six) et signifient que le facteur 10^3 , qui est maintenant adopté pour l'échelonnement des préfixes SI, est élevé à la puissance 5 et à la puissance 6 (voir la note* p. U 17).

Le C.C.U. a aussi pensé que "sepa", "seta" ou "septa", symbole S, et "sepo", "seto" ou "septo", symbole s, pourraient à l'avenir être considérés pour les puissances 21 et -21 : il n'a toutefois pas cru devoir se prononcer à ce sujet au cours de la présente session.

7. SYMBOLE K POUR LE PRÉFIXE KILO

La règle générale pour les symboles des préfixes est que l'on utilise une majuscule pour les exposants positifs, et une minuscule pour les exposants négatifs ; mais comme le fait voir le Tableau 7, p. 13 de la brochure "Le Système International d'Unités (SI)", il y a des exceptions dont la plus importante est que le symbole du préfixe kilo s'écrit avec une minuscule. On reçoit de temps en temps, surtout de la part de pays qui viennent d'adopter, ou qui sont sur le point d'adopter

le système métrique SI, des demandes pour la rectification de cette anomalie.

L'I.S.O./TC 12 et la C.E.I. ont recueilli des votes de leurs comités nationaux pour et contre ce changement. Ces votes ont été de 3 pour et 8 contre dans le cas de l'I.S.O., et de 2 pour et 10 contre dans le cas de la C.E.I.

Le C.C.U., considérant ces votes, et encore plus la confusion qui résulterait d'un changement, confusion accompagnée de risques dans certains cas, a décidé de laisser les choses comme elles sont.

8. DÉFINITION ET SYMBOLE DE L'ANNÉE

Le C.C.U. n'a pas reçu de demande d'attribution d'un symbole pour l'année, mais l'I.S.O. et l'O.I.M.L. utilisent le symbole a.

Sur la proposition de Mr *Stille*, le C.C.U. s'accorde pour admettre le symbole "a" avec, dans les cas appropriés, les indices recommandés par l'U.A.I. pour préciser de quelle année il s'agit, par exemple a_{trop} pour "l'année tropique".

9. FORME RÉDACTIONNELLE D'UNE ÉVENTUELLE REDÉFINITION DU MÈTRE

Le C.I.P.M. (62^e session, octobre 1973, Recommandation M 2 (1973)) a donné la valeur de la vitesse de la lumière comme étant 299 792 458 m/s, avec une incertitude d'environ $\pm 4 \times 10^{-9}$. Le C.C.U., pensant devoir considérer la possibilité de l'adoption de cette valeur, ou d'une valeur voisine spécifiée, comme valeur conventionnelle de la vitesse de la lumière, a discuté le changement qu'il faudrait alors apporter à la définition du mètre. Il a été d'avis que l'attribution d'une valeur conventionnelle à la vitesse de propagation de la lumière dans le vide ne devrait en aucune façon être accompagnée par un changement du système des unités de base, ni même de l'ordre dans lequel les définitions de ces unités sont données, et que l'on devrait conserver autant que possible la rédaction actuelle de la définition du mètre.

Comme cette définition, dans l'éventualité citée plus haut, dépendrait de deux valeurs conventionnelles exactes, à savoir celle de la fréquence du césium et celle de la vitesse de la lumière, et comme la définition du mètre précède celle de la seconde, il faudrait la rédiger comme suit : "Le mètre est la longueur égale à $9\,192\,631\,770/299\,792\,458$ longueurs d'onde dans le vide de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133."

Si la valeur finalement attribuée à la vitesse de la lumière différait de $299\,792\,458$ m/s, ce serait cette nouvelle valeur qui apparaîtrait dans la rédaction ci-dessus.

10. FORMULATION DE L'INTRODUCTION DE L'E.I.P.T.

(Documents CCU/74-7 et 22)

Mr *Stille* avait demandé une clarification de l'intention du Comité Consultatif de Thermométrie (C.C.T.) à propos de la formulation de l'Introduction du document du C.C.T. concernant le nouveau texte de l'E.I.P.T. Une modification proposée par Mr *Stille* sera considérée par le Président du C.C.U. et Mr *Preston-Thomas* et, lorsqu'ils seront tombés d'accord sur un texte, il sera transmis au C.C.T.

11. CHANGEMENTS À APPORTER A LA BROCHURE DU B.I.P.M.

"Le Système International d'Unités (SI)", 2^e édition, 1973

Un certain nombre de corrections et mises à jour de quelques paragraphes seront apportées à cette 2^e édition ; les principaux changements devront être mentionnés dans l'Avertissement. Ces corrections tiendront compte des discussions à cette session, des décisions récentes en ce qui concerne les unités, les préfixes et leurs symboles, et des développements dans certains domaines de la métrologie.

12. EXPRESSION DE "CONDITIONS NORMALES" AVEC LES UNITÉS

(Document CCU/74-8)

Le document CCU/74-8 est une lettre de l'O.I.M.L. donnant des exemples de notation incorrecte pour indiquer des valeurs dites "normales", par exemple Nm^3 pour indiquer qu'il s'agit de mètres cubes "normaux", c'est-à-dire d'un volume considéré dans des conditions spécifiées de température et de pression. Le C.C.U., d'accord avec l'O.I.M.L., estime qu'il faut éviter d'adjoindre à des symboles d'unités des symboles qui n'en sont pas.

13. NOMS SPÉCIAUX

POUR LES UNITÉS "MÈTRE CARRÉ" ET "MÈTRE CUBE"

(Documents CCU/74-9 et 20)

Certaines autorités ont réclamé des noms spéciaux pour le mètre carré et le mètre cube, parce que les préfixes s'appliquent à la longueur, non à l'aire ou le volume

Le C.C.U. est d'avis que l'utilisation des préfixes déca et hecto faciliterait quelque peu les choses pour des aires moindres que le kilomètre carré (km^2) et des volumes moindres que le kilomètre cube (km^3). Plusieurs membres estiment que le "un romain" I proposé par l'I.S.O. (voir point 2) offrirait une bonne solution s'il était finalement admis (par exemple $kIm^3 = 1000 m^3$).

En conclusion, le C.C.U. maintient les noms actuels.

14. NOM DE L'UNITÉ SI DE BASE POUR LA MASSE

(Document CCU/74-9)

Le C.C.U. reçoit souvent des demandes pour le changement du nom de l'unité de masse, qui contient un préfixe pour une raison historique ; une trentaine de nouveaux noms ont déjà été suggérés jusqu'ici. Le C.C.U. a déjà discuté cette question en 1967 (1^{re} session, p. U 15) et il avait conclu "qu'aucune proposition de changement du nom de l'unité de masse ne soit retenue à l'ordre du jour de la [13^e] Conférence Générale des Poids et Mesures, à moins que cette proposition ne garantisse

que l'uniformité mondiale concernant le nom de l'unité de masse n'en sera pas affectée et que le nouveau nom sera accepté universellement" (Recommandation U 1 (1967)). Cette position fut confirmée en 1971 à la 3^e session du C.C.U. (p. U 18).

Mr *Bager* souhaiterait un changement graduel, avec un nom comme "kilg" ou "klog", ressemblant à "kilo". Mr *Stille* rappelle que l'on vient d'obtenir des médecins et des hôpitaux qu'ils utilisent le milligramme (mg) et le microgramme (μ g) ; on ne pourrait donc changer de nouveau sans confusion et danger. Mr *McGlashan* est aussi d'accord sur ce point ; l'anomalie que constitue le préfixe kilo ne présente aucune difficulté au grand public, qui ne s'en préoccupe pas ; quant aux scientifiques, ils savent fort bien comment s'en tirer : donc il n'y a pas de problème.

Mme *Simonsgaard* dit que l'I.S.O. a aussi examiné cette question, comme celle de remplacer k par K pour le symbole de kilo, et que la conclusion a été de ne rien changer.

Le *Président* trouve très réels les risques signalés par Mr *Stille*, et le C.C.U. décide de s'en tenir à sa Recommandation de 1967.

15. SYMBOLE DU LITRE

(Document CCU/74-15)

Nombre de machines à écrire emploient le même caractère pour le chiffre 1 (un) et pour la lettre l (el), de sorte qu'il y a parfois confusion entre le chiffre 1 et le symbole du litre.

Le C.C.U. examine la possibilité d'adopter le symbole "lt" ou "ltr" ou encore "L" pour litre ; quelques membres trouvent ce dernier symbole approprié, mais Mr *Stille* craint les risques d'erreur en médecine.

Mr *Terrien* appuie cette remarque en pensant à la difficulté qu'a le public à lire l'écriture des prescriptions médicales, et qu'auraient peut-être les pharmaciens si le symbole était changé.

Mr *Hontí* estime que le symbole l est maintenant consacré par l'usage et qu'on ne doit pas le changer, mais qu'on peut toujours écrire "litre" en toutes lettres si l'on veut éviter la confusion.

D'autres membres expriment le même avis et le C.C.U. décide de ne pas toucher au symbole du litre, mais attire l'attention sur la possibilité d'écrire "litre" dans les cas où il y aurait risque de confusion.

16. REMPLACEMENT ÉVENTUEL DES SYMBOLES DU DEGRÉ CELSIUS, DE L'OHM ET DU PRÉFIXE MICRO

(Document CCU/74-11)

Etant donné l'impossibilité d'utiliser certains symboles d'unités dans les machines pour le traitement de l'information (téléx, ordinateurs), le C.C.U. avait considéré (3^e session, 1971, p. U 13) l'éventualité de remplacer les symboles du degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$) et de l'ohm (Ω) par Cel et Ohm. Priée d'étudier cette question, de même que celle du remplacement du symbole du préfixe micro (μ) par la lettre u minuscule, l'I.S.O. a conclu qu'il n'était pas opportun d'effectuer les changements considérés. Compte tenu de cet avis et de ceux des présidents des Comités Consultatifs de Thermométrie et d'Electricité, le C.C.U. décide de ne pas changer les trois symboles existants.

17. NOTATION POUR "PARTIES PAR MILLION"

(Document CCU/74-10)

Le Groupe de travail GT1 du Comité d'Etudes N° 25 de la C.E.I. a entrepris de systématiser la notation pour "parties par ..." et a soumis au C.C.U. la proposition d'attacher à la lettre minuscule "p" le préfixe qui convient ; par exemple mp signifierait "parties par mille", μp "parties par million", etc.

Mr *Page*, en présentant cette proposition, dit que le un romain I proposé par l'I.S.O. ne conviendrait pas très bien à la C.E.I., mais que celle-ci est néanmoins disposée à reconsidérer sa proposition si le C.C.U. adopte le I ; sinon la C.E.I. diffusera de nouveau sa proposition mp, μp , np, etc. Il explique

qu'en pratique le I ne suffirait pas, parce que μI par exemple ne serait pas compris aussi facilement que μp .

Le *Président* fait remarquer que ce "p" ne peut pas être considéré comme une unité et que, dans le langage, on dit toute la phrase. Mr *Stille* signale que l'U.I.C.P.A. et l'I.F.C.C. (International Federation of Clinical Chemistry) ont publié un Bulletin d'Information (N° 20, 1972) sur les symboles à utiliser en chimie clinique, qui déconseille l'usage préconisé par la C.E.I.

Mr *McGlashan* fait observer que la proposition de Mr Page n'identifie pas la nature de la fraction considérée, par exemple massique, volumique, etc. Elle est donc insuffisante ; il faut d'abord désigner la grandeur dont il s'agit, et ensuite donner le nombre sous la forme, par exemple 2 dans 10^6 , etc, ou encore utiliser le I.

Mr *Stille* dit que le Comité national d'Allemagne avait proposé le 1 (arabe) à la C.E.I., mais qu'il accepterait le I.

Le *Président* préfère le I, mais note qu'on ne doit pas entreprendre de forcer le public à utiliser exclusivement une notation scientifique. Mr *Page* ayant répété que la C.E.I. ne peut attendre la prochaine réunion du C.C.U. pour prendre une décision et qu'il lui faudra sous peu en prendre une pour son propre usage, le *Président* demande que le compte rendu de cette session rapporte la discussion. Il indique que le C.C.U. devrait se réunir dans un délai ne dépassant pas deux ans.

QUESTIONS DIVERSES

Au sujet de deux questions évoquées lors des précédentes sessions du C.C.U., celui-ci est informé des réponses reçues.

Kilowattheure.— Les Comités nationaux de la C.E.I. ont, dans leur majorité, reconnu la difficulté d'abandonner l'usage du kilowattheure en faveur du joule.

Symbole pour l'unité astronomique.— D'après une information reçue de la Commission 5 (Documentation) de l'Union Astronomique Internationale, l'"unité astronomique" n'a pas actuellement de nom ni de symbole internationaux spéciaux.

RÉSUMÉ DES CONCLUSIONS

1. Les unités des grandeurs logarithmiques sont en dehors du Système International.
2. L'usage du symbole I (le chiffre "un" romain), avec ou sans préfixes, placé avant le symbole d'une unité simple ou composée, semble présenter certains avantages, par exemple pour éviter l'accroissement du nombre des noms spéciaux d'unités. Le C.C.U. se propose d'examiner l'opportunité d'une recommandation à ce sujet lors de sa prochaine réunion.
3. Le C.C.U. estime qu'il n'est pas nécessaire de donner un nom spécial à l'unité "mètre à la puissance moins un" (m^{-1}) pour la fréquence spatiale, et ne voit pas d'objection à l'usage du "centimètre à la puissance moins un" (cm^{-1}) en spectroscopie.
4. Le C.C.U. recommande au C.I.P.M. d'admettre les noms spéciaux *becquerel*, symbole Bq, pour l'unité SI d'activité, et *gray*, symbole Gy, pour l'unité SI de dose absorbée, dans le domaine de la radiologie (*Recommandation U 1 (1974)*).
5. Le C.C.U. recommande que le nom spécial hertz déjà en usage pour la fréquence soit réservé exclusivement à cette grandeur.
6. Le C.C.U. recommande au C.I.P.M. d'admettre les noms *peta*, symbole P, et *exa*, symbole E, comme préfixes pour les puissances 15 et 18 de 10^(*).
7. Beaucoup plus d'inconvénients que d'avantages résulteraient d'un changement des symboles °C, Ω, l, μ et k, de même que d'un changement du nom de l'unité de masse ; pour cette raison, le C.C.U. recommande de ne pas les changer.
8. Dans l'éventualité de l'adoption d'une valeur conventionnelle pour la vitesse de la lumière, aucun changement ne devrait

(*) Ces deux noms ont été adoptés comme préfixes SI par la 15^e Conférence Générale des Poids et Mesures (1975) (Résolution 10).

être fait au Système International sauf une nouvelle définition du mètre qui devrait mettre en évidence les valeurs exactes de la fréquence du césium et de la vitesse de la lumière.

9. Les conclusions ci-dessus nécessitent d'apporter quelques changements à la 2e édition de la brochure du B.I.P.M. "Le Système International d'Unités (SI)". Ces changements devront être faits dans la 3e édition.

*
* *

Le C.C.U. ayant terminé l'examen de tous les points de son ordre du jour, le *Président* exprime ses remerciements aux membres. Au nom de ses collègues, Mr *Jensen* remercie le Président pour l'efficacité et l'amabilité avec lesquelles il a dirigé les discussions.

(23 septembre 1974)

RECOMMANDATION
du Comité Consultatif des Unités
présentée
au Comité International des Poids et Mesures

Noms spéciaux pour les unités SI d'activité et de dose absorbée

RECOMMANDATION U 1 (1974) **

Le Comité Consultatif des Unités,

- en raison de l'urgence, exprimée par la Commission Internationale des Unités et Mesures de Rayonnements (I.C.R.U.), d'étendre l'usage du Système International d'Unités aux recherches et aux applications de la radiologie,

** Cette Recommandation, approuvée par le Comité International des Poids et Mesures à sa 63e session (septembre 1974), a été aussi adoptée par la 15e Conférence Générale des Poids et Mesures (1975) mais sous une forme modifiée (Résolutions 8 et 9).

- en raison de la nécessité de rendre aussi simple que possible l'usage des unités aux non spécialistes,

- tenant compte aussi de la gravité de risques d'erreurs dans la thérapeutique,

RECOMMANDE d'admettre les noms spéciaux pour les unités SI des grandeurs suivantes de la radiologie :

unité SI pour l'activité becquerel, symbole Bq

unité SI pour la dose absorbée gray, symbole Gy.

INDEX

Année, symbole, U 11

Balances

- microbalance électronique (essais), 65
- NBS-2, 37
- régulation t salle des, 37
- Stanton (hydrostatique), 43

Bâtiments

- dépendances, 25
- Grand Pavillon (toilettes en sous-sol), 19, 24
- Observatoire (salle 14; système d'alarme), 24
- Petit Pavillon (logement gardien), 24

Becquerel, 11, U 6

Budget 1975, 19, 20

Caisse de prêts au personnel, 19

Certificats, Notes d'études, 82

Comités Consultatifs

- composition, 13
- présentation des rapports, 21
- réunions futures, 12
- Définition Seconde, 10; 7^e rapport, S 1
- Thermométrie, 9; 10^e rapport, T 1
- Unités, 11; 4^e rapport, U 1

Comité International, VII

- bureau du, 3
- démission (Y. Tomonaga), 3
- élection (Y. Sakurai), 3
- rapport du Secrétaire, 2

Comparaisons internationales

- débits fluence neutrons rapides monocinétiques, 73-78
- étalons nationaux 1 et 10⁴ Ω et V, 52

Compensateur photoélectrique et interférentiel, 28

Comptes, 3, 91

CGPM (15^e), projets de résolutions présentés à, 14

Convention du Mètre, Rép. Dém. Allemagne et Rép. Féd. d'Allemagne, 2, 3

Décibel, U 3

Dépôt des Prototypes métriques, visite, 21

Dilatomètre

- interférentiel, 30
- pour fils géodésiques, 32

Documentation, 84

Dotations du BIPM, proposition à 15^e CGPM, 4

Échelle Internationale Pratique de Température de 1968, révision, T 12-17, 23-26, 34-35

Électricité, 51

effet Josephson, 55

étalons nationaux 1 et 10⁴ Ω et V, comparaisons, 52

installations de mesure, 51

Étalons

- atomiques fréquence, progrès, S 2
- électriques (*voir* Électricité)
- longueur
 - à bouts, 30
 - à traits, 29

Exa, 11, 12, U 9

Fréquence spatiale, unité de (nom et symbole), U 5

Grandeurs logarithmiques (néper, décibel) unités des, U 3

Gravimétrie, 44

- gravimètre absolu transportable, 48
- gravimètre pour enregistrement marées, 44
- station de Mizusawa, 48

Gray, 12, U 7

Groupes de travail du CCT (*voir* à Thermométrie)

Hertz, emploi, U 9

Horloges atomiques, progrès, S 2

Interférométrie, 32

Josephson, effet, 55

Kilo, symbole, U 10

Kilogramme, nom, U 13

Kilogrammes prototypes

- N^o 39 (Corée), N^o 46 (Indonésie), N^o 52 (R.F.A.), N^{os} 62 et 63, 40
- nettoyage et lavage, 41

Kilowattheure, U 16

Lasers asservis

- sur absorption I₂, 32; stabilité, 33; mesures intervalles de ¹²⁷I₂, 34; de ¹²⁷I₂-¹²⁹I₂, 34
- sur « Lamb-dip », étalonnages par battements, 36

Litre, symbole, U 14

Manométrie (manobaromètre interférentiel), 50

Masses, 37

Masse volumique eau, 43

Mesures neutroniques

- débits fluence neutrons rapides monocinétiques, comparaison internationale (étude instruments de transfert, méthodes, résultats), 73-78

- Mètre carré, cube (maintien noms actuels), U 13
- Mètre, proposition pour nouvelle définition, U 11
- Mètres prototypes N° 27 C (Indonésie), N° 8 (France), 29
- Néper, U 3
- Nombre 1 (nom, symbole), U 4
- Notice historique, V
- Organismes internationaux et nationaux, travaux en liaison avec, 84
- Parties par million, notation, U 15
- Personnel du BIPM, IX
- caisse de prêts, 19
- départs, 23
- engagement, 23
- nomination, 23
- statut, 19
- traitements, 19
- voyages, visites, conférences et exposés, 85
- Peta, 11, 12, U 9
- Photométrie, 56
- installations de mesure (convertisseur courant-tension), 56
- Préfixes
- exa, peta, 11, 12, U 9
- kilo (symbole), U 10
- Publications
- du BIPM, 80
- extérieures, 80
- rapports internes, 81
- Questions administratives, 18
- Radionucléides
- chambre d'ionisation à puits, 65
- comparaisons internationales futures, 64
- ensemble (N° 3) de comptage par coïncidences $4\pi\beta$ (CP)- γ , 62
- microbalance électronique (essais), 65
- période ^{54}Mn , 63
- sources étalons
- distribution, 64
- mesure activité (^{60}Co , ^{54}Mn), 64
- spectrométrie α , 72
- statistiques de comptage, 66
- Rayonnements ionisants (voir Mesures neutroniques, Radionucléides, Rayons X et γ)
- Rayons X et γ
- coefficients atténuation (Cu, CCl_4 , C_2Cl_4 , Cl) pour rayonnement γ 1,33 MeV, 60
- installation pour mesure exposition, 58
- rayonnement γ du ^{60}Co , 59
- Recommandations
- CC Définition Seconde, S 14
- CC Thermométrie, T 37
- CC Unités, U 18
- Spectrométrie α , 72
- Statistiques de comptage
- lissage spectre expérimental, 69
- mesure impulsions secondaires, 66
- Symboles
- année, U 11
- degré Celsius, U 15
- kilo, U 10
- litre, U 14
- micro, U 15
- nombre 1, U 4
- ohm, U 15
- unité astronomique, U 16
- Temps
- atomique international (TAI), 26, S 5;
- exactitude intervalle unitaire seconde TAI, S 8
- base des temps légaux (UTC), S 11
- CC Définition Seconde, 10; 7^e rapport, S 1
- comparaison aux distances intercontinentales, S 7
- correction proposée au TAI, S 9
- échelles de temps, désignation et symboles, 10, S 11
- recommandations du CCDS, S 14
- universel coordonné (UTC), 27
- Thermométrie
- Comité Consultatif, 9; 10^e rapport, T 1
- EIPT-68, révision, T 12-17, 23-26, 34-35
- Groupes de travail, T 3-17, 23-26, 28-34
- recommandation, T 37
- installations pour EIPT, 48
- t thermodynamique point congélation Au, 50
- Travaux du BIPM, exposé sur, 17
- Unités (voir aussi au nom de l')
- Comité Consultatif, 11; 4^e rapport, U 1
- fréquence spatiale, U 5
- grandeurs logarithmiques, U 3
- kilowattheure, U 16
- masse (kg), U 13
- mètre carré, cube, U 13
- nombre 1, U 4
- rayonnements ionisants, 11, U 6
- recommandation CCU, U 18
- symboles (voir à)
- Vitesse de la lumière, informations sur, S 13
- Visites et stages au BIPM, 88
- Voyages, visites, conférences et exposés du personnel, 85

TABLE DES MATIÈRES

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES

63^e Session (Septembre 1974)

	Pages
Notice historique sur les organes de la Convention du Mètre	v
Liste des membres du C.I.P.M.	vii
Liste du personnel du B.I.P.M.	ix
Ordre du jour de la session	x
Procès-verbaux des séances, 24-26 septembre 1974	1
Ouverture de la session; télégramme de sympathie au Président Otero; membres excusés; Mr Oboukhov (U.R.S.S.) est autorisé à assister aux séances en l'absence de Mr Issaev; décès de J. Nussberger, ancien membre du C.I.P.M. ...	1
<i>Rapport du Secrétaire du C.I.P.M.</i> (Convention du Mètre: adhésion du Pakistan; situation de la République Démocratique Allemande. Membres du C.I.P.M.: démission de Y. Tomonaga; élection de Y. Sakurai. Réunions de Comités Consultatifs et du bureau du C.I.P.M. Indications financières)	2
Programme de travail et dotations du B.I.P.M. pour la période 1977 à 1980 (Discussion générale en vue des propositions à présenter à la 15 ^e Conférence Générale) ..	4
<i>Rapports des Comités Consultatifs</i> : Discussion des conclusions et des recommandations	
<i>Thermométrie</i> (10 ^e session) (Édition amendée de l'E.I.P.T.-68; Recommandation T 1 (1974))	9
<i>Définition de la Seconde</i> (7 ^e session) (Recommandations S 1 à S 5 (1974))	10
<i>Unités</i> (4 ^e session) (Préfixes <i>peta</i> et <i>exa</i> ; unités <i>becquerel</i> et <i>gray</i> , Recommandation U 1 (1974))	11
Réunions futures des Comités Consultatifs	12
Commentaires au sujet de la composition des Comités Consultatifs et de la désignation de nouveaux membres. Mr Siegbahn se retire de la présidence du C.C.E.M.R.I.; Mr Ambler lui succède	13
Préparation de la 15 ^e C.G.P.M. (Présentation des projets de résolutions qui seront soumis à la Conférence)	14
Travaux du B.I.P.M. (Exposé sur les principales activités scientifiques [voir détails plus loin])	17

<i>Questions administratives</i> : Bâtiments (Aménagement de toilettes au Grand Pavillon; aménagement de salles des laboratoires). Statut du personnel. Caisse de prêts au personnel. Traitements. Exercice 1973 (Question des intérêts des fonds déposés en banque; approbation du rapport financier). Adoption du budget pour 1975 ...	18
Visite des laboratoires et du Dépôt des prototypes métriques	20
<i>Questions diverses</i> (Présentation des rapports des Comités Consultatifs sous une forme abrégée. Centenaire de la Convention du Mètre)	21
Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau International des Poids et Mesures (octobre 1973 — septembre 1974)	23
I. PERSONNEL. — Remarques générales. Engagement (J. Gaillard). Départs (A. Jeannin, M. Drouin)	23
II. BÂTIMENTS. — Observatoire (Rénovation de la salle 14 (interférométrie). Installation d'un système d'alarme anti-vol. Peinture de l'appartement du gardien). Petit Pavillon (Réfection de planchers, après effondrement, dans le logement du gardien). Grand Pavillon (Travaux de peinture dans le bureau du directeur et l'escalier des bureaux. Aile nord : consolidation des fondations, aménagement de toilettes en sous-sol, réaménagement du bureau de l'administrateur). Laboratoire des rayonnements ionisants (Revernissage des portes et fenêtres). Dépendances (Ravalement de la menuiserie; peinture des grilles et grillages de clôture; curage des canalisations des eaux usées)	24
III. INSTRUMENTS ET TRAVAUX	25
Remarques générales	25
<i>Échelles de temps</i> . — Temps Atomique International (TAI); Temps Universel Coordonné (UTC)	26
<i>Longueurs</i> . — Comparateur photoélectrique et interférentiel (Révision et réglages)	28
Étalons à traits (Mètres prototypes N° 27 C [Indonésie] et N° 8 [France]; règles N° 16222 [U.R.S.S.], N° 5372 [Pologne], N° 774 [France])	29
Étalons à bouts (Calibres de 25 et 100 mm mesurés en adhérence sur plan d'acier dans deux laboratoires; études courantes)	30
Dilatomètre interférentiel de 1 m (Premiers essais)	30
Base géodésique (Fils; invar; dilatomètre de 24 m)	31
<i>Interférométrie</i> . — Lasers asservis sur l'absorption saturée de I ₂ (Étude de la stabilité par battements. Mesures d'intervalles de l'iode 127 et d'intervalles iode 127-iode 129. Étalonnages par battements)	32
<i>Masses</i> . — Régulation de la température de la salle des balances	37
Balance NBS-2 (Amélioration dans son installation et son fonctionnement)	37
Kilogrammes prototypes (Détermination de la masse des Kilogrammes N° 39 [Rép. de Corée], N° 46 [Indonésie], N° 52 [Rép. Féd. d'Allemagne], N° 62 [IMGC, Italie] et N° 63)	40
Nettoyage et lavage des Kilogrammes prototypes	41
Balance hydrostatique Stanton de 1 kg (Révision)	43
Masse volumique de l'eau (Projet d'étude de l'influence des gaz atmosphériques dissous)	43
Études courantes. Divers (Achat de Kilogrammes en acier inoxydable et d'une balance électronique Mettler ME22)	44
<i>Gravimétrie</i> . — Marées gravimétriques (Caractéristiques de l'installation et du fonctionnement du gravimètre à ressort)	44
Station gravimétrique de Mizusawa, Japon (Collaboration avec le BIPM) ...	48

Gravimètre absolu transportable de l'Institut de Métrologie de Turin (Premier résultat obtenu au BIPM)	48
<i>Thermométrie.</i> — Échelle Internationale Pratique de Température (Techniques et appareillages pour la réalisation de l'Échelle: point triple de l'eau, point de congélation de Al, point triple de Ar)	48
Température thermodynamique du point de congélation de l'or (Courbe corrigée des différences $T - T_{98}$)	50
Études courantes	50
<i>Manométrie.</i> — Manobarmètre interférentiel type BIPM (Appareils de l'ITI (Turin) et de Moscou. Projet d'automatisation et d'amélioration de l'appareil du BIPM)	50
<i>Électricité.</i> — Équipement (Pose de doubles parois dans la cabine thermorégulée des étalons de force électromotrice; modifications au bain d'huile pour les compa- raisons)	51
13 ^e comparaisons des étalons nationaux de résistance et de force électro- motrice: résultats (Étalons de résistance de 1 Ω et de 10 ⁴ Ω ; piles nues à 20 °C [bain d'huile] et à 30 °C [enceintes thermorégulées]; relation entre le volt main- tenu par quatre laboratoires nationaux et 2 e/h (effet Josephson))	52
Études courantes	54
Mise en œuvre de l'effet Josephson (Fabrication des jonctions, comparateur de tension, etc. Valeur préliminaire de 2 e/h mesurée au BIPM)	55
<i>Photométrie.</i> — Installation de mesure (Convertisseur courant-tension)	56
Photométrie hétérochrome (Essais préliminaires en vue de la réalisation d'un photomètre)	57
Aménagement du laboratoire. Études courantes. Programme de travail futur	58
<i>Rayons X et γ.</i> — Mesure de l'exposition dans le domaine des rayons X d'énergie moyenne (Caractéristiques de l'installation réalisée)	58
Rayonnement γ du ⁶⁰ Co (Suite des travaux pour les mesures de l'exposition et de la dose absorbée produite dans un fantôme de graphite)	59
Coefficients d'atténuation pour un rayonnement γ de 1,33 MeV (Étude des superpositions d'impulsions et détermination du coefficient d'atténuation de l'aluminium. Coefficient d'atténuation de différents composés et éléments [Cu, CCl ₄ , C ₂ Cl ₄ , Cl])	60
<i>Radionucléides.</i> — Étalonnage de sources radioactives :	
Ensemble N° 3 de comptage par coïncidences $4\pi\beta$ (CP)- γ (Modernisation) .	62
Mesure d'activité de sources de ⁵⁴ Mn par la méthode $4\pi(e,X)$ - γ ; période du ⁵⁴ Mn	63
Distribution de sources solides étalons; résultats obtenus à l'IER (Suisse) pour l'activité de quatre sources de ⁶⁰ Co et ⁵⁴ Mn	64
Comparaisons internationales futures de radionucléides (Résultats d'un questionnaire)	64
Essais d'une microbalance électronique	65
Ensemble utilisant une chambre d'ionisation à puits pour la mesure de sources émettrices de photons (Études préliminaires)	65
Statistiques de comptage (Mesures d'impulsions secondaires. Lissage d'un spectre expérimental)	66
Spectrométrie α (Révision de l'installation)	72
<i>Mesures neutroniques.</i> — Comparaison internationale des mesures de débits de fluence de neutrons rapides monocinétiques (Choix des instruments de transfert. Mesure au BIPM de la sensibilité de l'ensemble sphère de polyéthylène et compteur à BF ₃ . Premiers résultats de la comparaison)	73
Travaux d'électronique et de mécanique	78

Publications du B.I.P.M.	80
Publications extérieures	80
Rapports internes	81
Certificats et Notes d'étude	82
IV. ACTIVITÉS ET RELATIONS EXTÉRIEURES	84
Documentation; Système International d'Unités	84
Travaux en liaison avec des organismes internationaux et nationaux	84
Voyages, visites, conférences et exposés du personnel	85
Visites et stages au B.I.P.M.	88
V. COMPTES	91
10 ^e Rapport du Comité Consultatif de Thermométrie au Comité International des Poids et Mesures, par M. Durieux	T 1
7 ^e Rapport du Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde au Comité International des Poids et Mesures, par B. Guinot	S 1
4 ^e Rapport du Comité Consultatif des Unités au Comité International des Poids et Mesures, par P. Vigoureux	U 1
INDEX	XI

IMPRIMERIE DURAND

28600 LUISANT (FRANCE)

Dépôt légal, Imprimeur, 1976, n° 427
ISBN 92-822-2035-4

ACHEVÉ D'IMPRIMER LE 1976-06-10

Imprimé en France